Public Works Canada
Travaux publics Canada

Architectural and Engineering Services
Services d'architecture et de génie

Building Performance Evaluation Series

Measurement of Outdoor Air Supply Rate

Document D37

Canada

Building Performance Evaluation Series

Measurement of Outdoor Air Supply Rate

Document D37

AES 1-4:86-46

March 1988

90-02178/

The Minister of Public Works makes no representation or warranty, express or implied, with respect to this publication or the programs or information described in this publication, their quality, merchantability, or fitness for any particular purpose, or their adequacy to produce any particular result. In no event shall the Minister or Her Majesty the Queen in right of Canada, Her employees, servants or agents be legally liable to any person or persons for any damage, whether direct, indirect or consequential, resulting from the use of said publication or the programs or the information contained therein.

Published by Architectural and Engineering Services
Public Works Canada

Public Works Canada / Travaux publics Canada

DOCUMENT DATA

1. Document Title MEASUREMENT OF OUTDOOR AIR SUPPLY RATE	2. Control Number AES/SAG 1-4:86-46
	3. Date March 1988
4. Author(s)	5. Consultant's Ref. No.
6. Project Manager	7. Discipline Series No. D37
8. Preparation Agency and Address Building Performance Division, Public Works Canada Room C-548, Sir Charles Tupper Building Riverside Drive, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Telephone: (613) 998-7830	9. Document Type Guideline
	10. No. of Pages 38
11. Sponsoring Agency and Address D.C. and R.T. Appropriated Programs Accommodation Branch	12. PWC File No. A4270-16
	13. PWC Project No. 602055
14. Supplementary Notes Questions and comments should be directed to the preparation agency, in 8 above.	15. SSC Publication No.
	16. ISBN

17. Abstract

In recent years, the amount of fresh air into the building has been reduced in the interests of energy conservation. During this time, air quality within buildings has become a major concern.

Maintaining good air quality is a function of the ventilation system and techniques are required for determining how well a given ventilation system can perform. This document presents a method for using tracer gases to evaluate the effectiveness of ventilation systems in supplying outdoor air.

18. Distribution Statement Copies are available from: Documentation Centre Architectural & Engineering Services Public Works Canada Sir Charles Tupper Bldg., Riverside Dr. Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Keywords	
	20. Documentation Centre Catalogue No. BP D37	21. Price

TABLE OF CONTENTS

1.	**INTRODUCTION**	*1*
1.1	Purpose and Objectives	*1*
1.2	Background Information	*2*
2.	**TERMS OF REFERENCE**	*4*
2.1	General Framework	*4*
2.2	Limitations of Evaluation Technique	*4*
3.	**METHODOLOGY**	*6*
3.1	Stage I – Preliminary Assessment	*6*
3.1.1	Description of Techniques	*6*
3.1.2	Equipment	*7*
3.1.3	Detailed Procedure	*7*
3.1.4	Assessment	*8*
3.1.5	Resource Allocation and Timing	*8*
3.1.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*8*
3.2	Stage II – Simple Measurement Techniques	*9*
	not applicable	
3.3	Stage III – Specialized In–Depth Monitoring	*9*
3.3.1	Description of Technique	*9*
3.3.2	Equipment and Supplies	*9*
3.3.3	Detailed Procedure	*10*
3.3.4	Assessment	*15*
3.3.5	Resource Allocation and Timing	*19*
3.3.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*19*
4.	**REFERENCES**	*20*
5.	**APPENDICES**	*21*
5.1	Standard Terms and Units of Measurement	*21*
5.2	Governing Authorities and Regulations	*21*
5.3	Tracer Gases and Their Properties	*22*
5.4	Pressure Monitoring	*22*
5.5	Sources of Materials and Equipment	*27*
5.6	Aid Model 511 Gas Chromatograph Start–up and Calibration	*27*
5.7	Estimation of Desirable Release Rates	*35*
5.8	Air Quality Data Sheets	*36*
5.9	Building Performance Evaluation Document List	*38*

LIST OF FIGURES

3.3.1	Example of a Chromatogram	14
3.3.2	Pressure Profiles on Tall Building on Cold, Calm Day	18
5.4	Sample Pressure Set Up Chart	26
5.6.1	Integrator Parameters (Plot Mode)	28
5.6.2	Example of Detector Cell Output	28
5.6.3	Standing Current Test	29
5.6.4	Integrator Parameters	29
5.6.5	SF_6 – Peak Area Calibration (10 µl injection)	30
5.6.6	SF_6 – Peak Height Calibration (10 µl injection)	31
5.6.7	Freon 12 – Peak Height Calibration (10 µl injection)	32
5.6.8	SF_6 – Peak Area Calibration (10 µl injection)	33
5.6.9	SF_6 – Peak Area Calibration (Different Volumes Injected)	34

1. INTRODUCTION

This document presents a method for using tracer gases to evaluate the effectiveness of ventilation systems in supplying outdoor air. The techniques presented are intended for use in large multi–storey office buildings but can be adapted for use in other types of buildings.

A number of factors have led to increased concern about air quality in buildings. These include:

- improved airtightness of building envelopes,
- reductions in the amount of the outdoor air supply in the interest of energy conservation,
- new approaches to ventilation system design,
- increased use of synthetic materials in the building fabric and in furnishings.

Maintaining good air quality is the function of the ventilation system and techniques are required for determining how well a given ventilation system can perform. Such techniques are used in different circumstances, including:

- commissioning a newly installed or modified system,
- evaluating the results of balancing a system,
- investigating air quality complaints,
- following up studies which indicated air quality problems that might be attributed to ventilation system performance.

1.1 PURPOSE AND OBJECTIVES

The methods outlined measure the rate at which a ventilation system supplies outdoor air. The results can be input as specific parameters in energy analysis models to estimate how outside air introduced by the ventilation system affects the total energy consumption of the building and whether these figures are acceptable. These data, along with findings from other tests (e.g., air circulation evaluation), are used to determine if modifications to the system are required and if the building meets current PWC standards.

ASHRAE defines "ventilation" as "the process of supplying or removing air by natural or mechanical means to or from any space. Such air may or may not have been conditioned."

Therefore, an important aspect of the performance of the ventilation system, which the method outlined herein seeks to evaluate, can be described as "the ability of the system to supply air to and remove air from all spaces in the building". However, some further elaboration is required. There is no point in removing the stale air from one space in a building if it is just replaced with equally stale air from another space. Little will have been accomplished unless the replacing air has been processed in some way or is fresh outdoor air. Normally in office buildings, the only processing available is filtration and that is not capable of removing many of the pollutants that accumulate in buildings

today. Thus we are really interested in learning the rate at which interior air is exchanged for exterior air – this is the prime criterion of ventilation system performance.

This document presents a technique for evaluating this ability. It uses a single tracer gas to determine the overall building air change rate created by the operation of the ventilation system.

1.2 BACKGROUND INFORMATION

The rates of removal of stale air and supply of outdoor air, particularly in large buildings, can be substantially different than those envisaged in the original design. These differences could be the result of a number of building parameter variations such as:

- on–site construction decisions,
- installation details, particularly with respect to sub–trade conflicts,
- improper initial balancing of the ventilation system,
- post–construction modifications to the building's internal layout and/or to the ventilation system, and
- actual systems operation levels versus planned levels, (e.g., HVAC system pressures).

Evaluation of the air change rate is therefore an important component of the overall assessment of the mechanical system's performance. The results of this evaluation may also give insight into the results obtained from air quality analysis and the occupants' questionnaire. Ventilation system evaluation results can often be correlated with air circulation evaluation results and pollution migration findings.

Changes in the air change rate from the designer's original intentions are not necessarily harmful or inefficient. To assess the building and occupant workspace, it is necessary to have a full appreciation of the overall air flow characteristics. This knowledge can be used to explain perceived problems with air flow, ventilation, temperature, air quality and pollution migration and to help devise solutions to these problems. It is also necessary to have an understanding of how existing performance will be affected by possible solutions to problems not directly related to ventilation.

A building's air change rate is made up of two components:

- the flow of air in through intentional intake openings and out through intentional exhaust openings driven by the building's ventilation fans, and
- the leakage of air in and out through unintentional openings in the building envelope driven by wind, stack effect and the pressures created by operation of the building's ventilation fans (referred to by ASHRAE as "infiltration").

The leakage component will always be a part of any air change rate measurement. However, because of its unintentional and uncontrolled nature, it will vary from time to time depending on the wind and the inside/outside temperature difference. Its

distribution is also uncontrolled and is likely to be quite random. Therefore it should not be counted upon as a part of the fresh air supply; i.e., the amount of such leakage should be determined and subtracted from the overall air change rate to arrive at the amount of air change attributable to the ventilation system. The method presented in this document include techniques for isolating the leakage component.

A more thorough discussion of air leakage is presented in document D36, Airtightness and Pressure Monitoring.

2. TERMS OF REFERENCE

2.1 GENERAL FRAMEWORK

The techniques for determining the total air change rate of whole buildings are well documented. In the simplest approach a non–toxic, non–obtrusive tracer gas is injected and evenly distributed throughout the building. Outdoor air (fresh air supplied both by the ventilation system and by air leakage through unintentional openings) enters the building and dilutes the concentration of the tracer gas. The air change rate (the rate at which stale air in the building is exchanged for fresh air) of the building is determined by measuring the average concentration of the tracer gas in the building periodically over time and, from these measurements, calculating the rate of change (decay rate) of the average tracer gas concentration. The rate at which the concentration of the tracer gas is diluted by fresh air is a measure of the air change rate of the whole building. The technique does not distinguish between the rate of fresh air supplied by the ventilation system and the rate of fresh air supplied by air leakage.

The determination of the air leakage component (air that enters through unintentional openings) of the total air change rate relies on applying a well established empirical relationship between air leakage, pressure difference and the leakage characteristics of the envelope. This relationship is based on airtightness test data. The constants derived from the airtightness data are a function of the leakiness of the building envelope and are used to determine the flow through the envelope for pressure differentials found under normal conditions. Knowing, from tracer gas tests, the total air change rate of the building or zone and from airtightness data the air leakage rate, the contribution of outdoor air supplied by the ventilation system can be calculated by difference. The protocol and equipment for an airtightness test is very similar to the protocol and equipment for an outdoor air supply rate test.

2.2 LIMITATIONS OF EVALUATION TECHNIQUE

Tracer gas decay techniques are quite labour intensive since tracer gas seeding and subsequent sample taking must take place essentially simultaneously at several locations throughout the building. It is also quite time consuming since tracer gas concentrations must be allowed to decay for at least one hour for each mode the ventilation system is tested under.

Tracer decay technique assumes perfect mixing in each of the zones represented by the concentration of the tracer gas. In the ideal situation, if the tracer gas is always perfectly mixed throughout the building, any sampling location can be chosen to be representative of the whole building. In real offices the degree of perfect mixing in a zone will vary depending on how well the air in a given section of the zone mixes with the air in the rest of the zone. The greater the representative volume for a given tracer gas sample, the greater the potential error in the calculation of the air change rate if the zone is not perfectly mixed.

The estimation of the outdoor air contribution due to air leakage requires two inputs:

1) empirical constants derived from airtightness tests (as a consequence, an airtightness test must be performed).
2) the pressure profile across the envelope during each tracer gas test.

The accuracy of the calculation of the outdoor air component due to air leakage will depend largely on how accurately both these inputs can be measured. The accuracy of the pressure profiles is largely limited by available pressure measuring instrumentation.

3. METHODOLOGY

3.1 STAGE I – PRELIMINARY ASSESSMENT

3.1.1 Description of Techniques

Plan/Archive Analysis

Before field testing is undertaken, the testing team must become familiar with the layout of the building and its mechanical systems and identify:

- location of outdoor air intakes and exhaust outlets;
- the location of the mechanical system controls and the method of setting them to achieve different levels of outdoor air supply;
- the location of air supply and exhaust registers;
- logical locations of tracer gas release sites;
- logical locations for tracer gas sampling sites.

Prior to the initial site visit, the team reviews the as–built drawings, if available, or the latest design documents. Notes are made on the mechanical system layout with special attention to location of supply and exhaust registers in each unique zone, floor or room in the building. Special attention is given to areas with high pollutant sources such as washrooms, and laboratories. The number of HVAC systems employed in the building, the number of zones they serve and any special areas served by separate HVAC systems are noted.

Expert Walkthrough Analysis

This level of evaluation depends on a keen sense of observation to determine any potential problems that may exist because of the arrangement of factors that affect the ventilation system. This takes place during the first field trip when members of the study team responsible for planning the ventilation testing determine the general condition of the ventilation system, the current control strategy and the location of supply and exhaust registers for each zone. Photographs and written notes are taken to plan subsequent field trips and the layout of testing locations.

a) Plan Annotation – Notes are made on site plans and floor plans to give immediate physical reference to potentially abstract data. Initial site visits are intended to develop hunches for future follow–up and this technique will require the inventiveness and skill of a keen observer to be employed. Observations should be made at different times of the day, when the building is occupied and unoccupied. The more precise the plan on which the notations are made, the more useful the data will be during analysis away from the site. See Document D21, Plan Annotation.

b) Checklists – Checklists are used to guide observations and to record conditions and their frequency. These would include such obvious indicators as blocked supply or exhaust grilles, deployment of partition walls, dusty exhaust grilles, markings on supply registers, location of air intakes and exhausts, type of extra

clothing worn by employees and the presence of personal fans, heaters or humidifiers.

c) Photographs – Photographs are helpful when they document ways in which people have changed their interior environment to achieve a certain end. They show how the occupants have adapted to or changed their environment in order to meet their personal ventilation or comfort requirements. For example, the distribution of partition walls relative to key traffic areas, casual meeting areas, the coffee room, and the smoking room, all play key roles in how ventilation air is distributed throughout the zone and how occupants have adapted their local environment to meet their comfort levels.

d) Air flow testing – Smoke pencil air flow testers are used to detect slight air currents and their directions in rooms, near windows and other possible air leakage paths.

3.1.2 Equipment

The following equipment should be taken along for the walkthrough:

a) 35 mm cameras with various lenses and a flash unit;
b) note book, reductions of plans for notation;
c) smoke pencils;
d) ladders, small and large extension;
e) tools – penknife, measuring tape, screwdrivers and screws, pliers, hammers, caulking, tape, for minor destructive testing;
f) overalls for protection in dirty areas;
g) design documents for reference.

3.1.3 Detailed Procedure

Plan/Archive Analysis

The following details of the mechanical system are studied:

- relation of supply register to windows and doors;
- relation of exhaust registers to supply registers;
- areas served by separate HVAC systems;
- location of shafts (mechanical and electrical);
- location of outdoor air intakes and exhaust outlets (i.e., look for possible short circuiting of supply);
- location of outdoor air intakes relative to exhaust ducts (i.e., look for possible entrainment of exhaust air);
- capacity of supply and exhaust fans;
- estimate of the air change rate of the zone;
- control strategy for the ventilation system (manual or automatic). If the system is automatic, what are the control criteria;
- seasonal variation in control strategy.

Walkthrough

On the initial walkthrough, a tour with the building manager provides a general overview for the team members and an introduction to the current functional activities and where

they take place. This would include a tour of the mechanical and electrical rooms, penthouses and boiler plant. The condition and location of fresh air supply and exhaust ducts, grilles and louvers are noted. Special attention should be paid to the location of the outdoor air supply relative to any pollutant sources including the exhaust air plenum. This is the opportunity to discuss any building operation problems with the building engineer. Also look for relative difference in strength in supply and return air delivery.

A general walkthrough is made taking notes and meeting with section heads of departments, inspecting the interior architectural components especially windows, exterior stairwells and the wall/roof junction above the suspended ceiling. A series of photographs are taken of any damaged areas and logged onto the floor plans. Comments pertaining to each photograph should also be made and kept track of by numbering each shot.

Air flow testing is done on suspect areas or where more information about air streams is required. For more information on the use of smoke pencils refer to Section 3.2.3 in D02 – Pollution Migration..

Notes on the location of possible air leakage paths or anomalies in supply/exhaust air flow patterns are entered on the plans.

3.1.4 Assessment

The data is assembled by placing all the information on floor plans, site plans and elevations. This is assessed by the team using building science knowledge of moisture, temperature, air movement, chemical and biological attack.

Final assessment of the collected data will be made in conjunction with results from the following field tests:

- mechanical system;
- functional analysis studies;
- thermographic inspections;
- resistance and capacitance studies;
- air quality testing;
- vibration testing;
- pollution migration findings.

3.1.5 Resource Allocation and Timing

A two–person team is able to conduct a plan/archive analysis in one working day provided that all the material is available.

The walkthrough takes two people approximately one day in a building of 10,000 m^2. The subsequent report would take two days to produce. This would include discussions, interviews, research into existing materials and call backs.

3.1.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All material collected during the plan/archive analysis and the walkthrough should be kept in the project files. This would include items such as notes, observations and

photographs. The results of the preliminary assessment are normally presented in a project memo.

3.2 STAGE II - SIMPLE MEASUREMENT TECHNIQUES

not applicable

3.3 STAGE III - SPECIALIZED IN-DEPTH MONITORING

3.3.1 Description of Technique

The procedure consists of the following steps:

1. Close all exterior doors and windows. The tests are designed to measure the net air change of the building as occupied.
2. The damper positions and fan control settings of the ventilation system are adjusted according to a particular ventilation strategy. The adjustments are made in consultation with the building engineer.
3. Inside/outside pressure differences are measured at sufficient points over the height and around the perimeter of the building to provide a clear picture of the pressure profile.
4. Simultaneous with 3., or very nearly so, the air change rate of the building is measured using the tracer gas technique.
5. Steps 2., 3. and 4. are repeated until the air change rates for all ventilation strategies of interest have been measured.

A number of different tracer gases may be used for this test. Appendix 5.3 lists suitable tracer gases with their relevant properties. The choice of gas will be dictated primarily by the preference of the investigator. Sulphur hexafluoride (SF_6) is the most commonly used and results can be compared with results from similar testing by other agencies.

The test should only be carried out when wind speeds at all levels of the building are low, say less than 5 km/hr; otherwise the wind will cause the pressure readings to fluctuate and will complicate analysis.

As the test is complex and requires the coordinated efforts of many people, it is important to have a comprehensive, building specific plan of action based on the information gathered in Stage I.

3.3.2 Equipment and Supplies

The equipment required is listed below.

TRACER GAS RELEASE

A system to release a known volume of tracer over a short period (e.g., 0.5 L/min for 5 minutes). This can be achieved in one of two ways:

a) tracer filled gas bags of approximately 1 L capacity; or

b) a gas cylinder fitted with a two stage regulator connected to a calibrated flow controller.

- stop watch,
- walkie–talkies,
- bubble meter to calibrate flow meters accurately.

Sampling

- Air samples are collected in 10 ml evacuated glass tubes, silicone coated and stoppered with a butyl rubber septa. (These are commonly known as vacutainer serum tubes). One tube is required per sample.
- labels for each sample tube;
- one 20 ml B–D disposable polypropylene syringe with needle for each sample site.

Analysis

- gas chromatograph (GC) with election capture detector (ECD);
- Chromacil 310, 80/100 mesh, 10 ft. x 1/8 in. stainless steel chromatographic column;
- cylinder of 5% methane in argon for carrier gas with a two stage regulator;
- chart recorder or integrator to record GC output (chromatograms);
- gas tight syringes (50, 100, 500 µl) for sample injection;
- spare parts for GC should include injection port septa, GC columns, various Swagelok fittings and gas tight syringes;
- known tracer/air gas standards for calibration of GC. Alternatively a gas standard generator can be used to prepare known tracer concentrations.

3.3.3 Detailed Procedure

GAS CHROMATOGRAPH CALIBRATION

The GC should be calibrated before and after each day's analytical work. This is performed by analyzing known concentrations of tracer gas in air and calculating the detector response factor. That is for a specific amount of tracer injected, the detector gives a certain peak height. Calibration of the AID Model 511 gas chromatograph is described in detail in Appendix 5.6. The calibration described provides a linear range of 5 to 500 ppb SF_6 using a 10 µl injection volume.

Calibration of the chromatograph can be performed using prepared gas standards in cylinders or by daily generation of gas standards using a gas standard generator and permeation tubes.

Gas standards are prepared using a standard generator as follows:

- A permeation device is placed in the oven of the standard generator. The oven is set to the temperature required to obtain the factory calibrated permeation rate as per the data supplied with the permeation device.

- The airflow through the standard generator is set to different flow rates to obtain various tracer/air concentrations. The following equation is used to calculate the gas standard concentration:

$$C_X = \frac{(P_X)(K_X)}{F} \qquad (1)$$

where,

C_X is the concentration of component x expressed in ppm,

P_X is the total emission rate of component x from the tube(s) in ng/min.

K_X is a unit conversion factor for component x which converts nanograms per minute to nanoliters per minute at operating conditions. Typically K_X = (24.45)/(mol. wt. of x) for operation at standard atmospheric pressure and 25°C.

F is the dilution flow rate in milliliters per minute at 25°C and standard atmospheric pressure.

The air flow F is checked with a bubble flow meter.

OPERATION OF THE MECHANICAL SYSTEM

Ventilation System Operation and Control Strategies

The building HVAC system is designed to bring in a controlled amount of outdoor air to satisfy fresh air requirements of the occupants and minimize energy costs associated with heating or cooling the building. During periods when the building is being heated or cooled, the amount of outdoor air is kept to a minimum to reduce space conditioning loads. During mild weather, outside air is often brought in to cool the building. The amount of outdoor air is generally determined by an automatic control system which compares the condition of the discharge or return air (i.e temperature, humidity or both) to outdoor conditions or to a fixed desirable indoor condition.

Recommended Test Strategies

It must be appreciated that there may be an infinite number of outdoor air/return air combinations. Availability of resources and timing will limit the number of tests that can be performed. Thus, the test should be priorized in the following order:

1) Ventilation system operated under minimum outdoor air. Typically, this would be the winter or summer mode.
2) Ventilation system operated under maximum outdoor air. Typically, this might be spring or fall mode.
3) If the winter/summer or spring/fall modes are different, then the effectiveness of the ventilation system also should be tested for these different conditions.
4) Ventilation system operated under any other modes identified by the building engineer as commonly used. The information derived from these additional tests should be weighed against the limitations in resources and timing.

BUILDING AIR LEAKAGE CHARACTERISTICS

Building air leakage characteristics are derived from separately conducted building airtightness tests. The air leakage characteristics of the building are represented by two

coefficients, C and n, which allow the air flow through the envelope to be calculated for a given pressure differential across the envelope. Document D36 Airtightness and Pressure Monitoring fully describes the technique for measuring the airtightness of a large building and the determination of these empirical coefficients.

PRESSURE MONITORING

The measurement of the pressure profile across the building envelope is required if the air leakage component of the total air change rate is to be determined. The average pressure difference across the envelope is measured simultaneously over the same test period as the tracer gas sampling. For equipment and methods required to determine the pressure profile across the building envelope, see Document D36 – Airtightness and Pressure Monitoring or the method proposed in Appendix 5.4.

TRACER GAS RELEASE

The objective in the release is to achieve a uniform initial concentration of the tracer gas throughout the building. Approaching this ideal will be aided if the tracer gas is released at as many points as possible. The number of release points will be limited primarily by the number of available personnel. The priority should be to have at least one release site located centrally in each enclosed volume in the building. In areas with large numbers of small offices, this will not be possible; however, if all the office doors are left open, release in central common areas or hallways may be adequate.

The tracer gas release is as follows:

- Each gas bag is filled with the tracer gas through a short length of plastic tubing connecting its filler valve/nipple to the gas cylinder pressure regulator.
- The release bags are carried to the pre–selected release sites.
- The bags are opened simultaneously at all sites. (i.e. – within one or two minutes by watch synchronization or walkie talkie).
- The building HVAC system is operated at its highest rate (but with no make–up or exhaust) for at least 15 minutes and then shut down. It should be operated for enough time to create at least one complete air recirculation. This can be estimated by dividing the building volume by the capacity of the recirculating fans.
- A mixing period of about 30 minutes is allowed before sampling begins.
- The building HVAC system is adjusted to one of the operating modes to be tested.
- Office doors which are normally closed, are closed.
- Sampling begins.

SAMPLING

Even if the initial tracer gas concentration is uniform throughout the building, it will not decay uniformly throughout the building. For example, in cold weather it will tend to decay rapidly on the lower floors due to stack–effect–induced infiltration and may even increase on the upper floors as the air from the lower floors is driven upwards. The concentration at any one point, therefore, is not likely to follow the straight line

logarithmic decay on which the normal tracer gas decay analysis is based. However, the overall average concentration in the building should follow this pattern.

Therefore, the objective in taking air samples for measurement of tracer gas concentration is to obtain enough data to determine the overall average concentration of the tracer gas in the building at any point in time. This objective will be approached to the extent that the following conditions are approached:

- samples are taken simultaneously at a large number of points throughout the building.
- the tracer gas concentration at each sampling site is representative of the concentration in a portion of the building's volume that is assigned to it as a "represented volume".
- the sum of the "represented volumes" equals the total volume of the building.
- in areas with a large number of individual offices, each an enclosed volume, it may not be possible to sample each and every office unit. In such cases specific offices should be selected as representative of other similar offices. In making this selection, it should be borne in mind that perimeter offices are likely to experience different air change rates than interior offices. The concentration in these selected offices are then representative of the concentration in the other similar offices.

Therefore, the sampling sites must be carefully pre-selected bearing these criteria in mind and with due regard for internal separations and likely air circulation patterns that will prevail.

For a given mode in which the HVAC system is operated, samples are taken at all sites at least five times over a period of at least one hour. Again, watch synchronization is used to ensure that each set of samples is taken within a period of one or two minutes.

Before testing begins each sample site should be equipped with enough vacutainers (10cc) for the sampling period and a disposable B-D syringe (20cc) fitted with a needle.

The steps for sample collection are:

1. Flush the syringe twice by drawing the plunger from 0 to 20cc and then push the plunger back to 0. The plunger will have to be moved slowly to allow the air to be drawn into or forced out of the syringe.
2. To collect an air sample, slowly pull the plunger of the syringe to the 20cc mark. Wait until the plunger is no longer drawn back by the vacuum.
3. Insert the needle of the syringe into the rubber septum of the vacutainer. The plunger will be drawn by the vacuum to about the 10cc mark; failure to do so indicates a faulty vacutainer. After the plunger stops, push it slowly to the 0 mark and hold it there for approximately fifteen seconds.
4. The sample is clearly labelled and set aside for analysis.

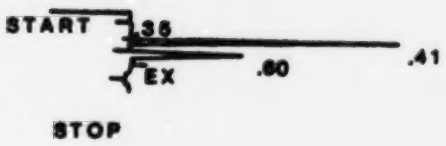
SAMPLE ANALYSIS

Air samples are analyzed for tracer gas content using the gas chromatograph. An example of a chromatogram output from a gas chromatograph is shown in Figure 3.3.1.

Analysis can be performed either on site, i.e., in the test building, or samples may be carefully packed and sent by surface mail to a central laboratory. It is recommended that the GC not be set-up in the release areas.

```
LIST: LIST
PEAK CAPACITY: 1157

ZERO      =  10, 0.0
ATT 2↑    =  0
CHT SP    =  1.0
PK WD     =  0.04
THRSH     =  0
AR REJ    =  0
```




```
RUN # 345                    APR/25/88              12:57:52

ESTD
  RT              AREA TYPE CAL#                    AMOUNT
 0.60             5454   BB   1R                    62.105

TOTAL AREA=          5454
MUL FACTOR=    1.0000E+00
```

Figure 3.3.1: Example of a Chromatogram

Air samples are analyzed in exactly the same manner and under the same operating conditions as the calibration standards. The concentration of tracer in a sample is calculated using the following equation:

$$\text{Sample Concentration} = \frac{\text{Standard Concentration}}{\text{Standard Peak Height}} \times \text{Sample Peak Height}$$

This calculation assumes that the same injection volume of sample and standard is used.

3.3.4 Assessment

Once the tracer gas concentrations are known for all samples taken, there are six stages to the analysis of the results:

- Derivation of an overall building average tracer gas concentrations from each set of individual sampling site concentrations, a "set" meaning all samples taken at the same time.
- Derivation of an overall building air change rate from the overall average building tracer gas concentrations for each mode of operation of the building ventilation system.
- Analysis of the pressure data to derive the neutral pressure plane level for each mode of operation.
- Calculation of the average pressure differential across the envelope below the neutral pressure plane only.
- Calculation of the average air leakage through the envelope.
- Subtracting the air leakage component from the total building air change rate to determine the amount of fresh air delivered by the ventilation system only.

OVERALL AVERAGE TRACER GAS CONCENTRATION FOR THE BUILDING

The overall average tracer gas concentration for the building for a given time is simply the average of the concentrations of all samples taken at that time weighted according to the "represented volumes" of the sampling sites.

The Analysis of Results form in Appendix 5.8 provides a convenient method of organizing the data to carry out this calculation. It is a calculation that can readily be transferred to a microcomputer spreadsheet; this is a worthwhile effort since the calculation will have to be repeated many times.

TOTAL BUILDING AIR CHANGE RATE

The air change rate is derived from the average building tracer gas concentrations using the following relationship:

$$C_t = C_o \times e^{-N.t} \qquad (2)$$

where C_o = average building tracer gas concentration at start of test
C_t = average building tracer gas concentration at time t (ppm)
t = time
$N = \frac{Q}{V}$ = air change rate (building volumes per unit time)

Hence,

$$\ln (C_t) = \ln (C_o) - N \cdot t \qquad (3)$$

According to equation (3), plotting the natural logarithm of the concentration ($\ln C_t$) as a function of time should yield a straight line. The slope of the line is given by $-Q/V$ which is the total air change of the building. Multiplying by the volume of the building (V) gives the total volumetric air change rate (Q_T).

The sets of concentrations and times for each mode of operation of the ventilation system must all be processed to derive a set of air change rates.

DETERMINATION OF THE NEUTRAL PRESSURE PLANE

For any given mode of operation of the building circulation system there will exist at each floor an inside/outside pressure difference. These pressure differences should vary linearly from bottom to top of the building more or less according to the pattern shown on Figure 3.3.2.

At some point the line shown in Figure 3.3.2 crosses the building envelope. For a typical building with leaks distributed more or less evenly throughout the envelope this line will cross the building envelope more or less half way up the building. This "cross over" point is called the neutral pressure plane. In some cases, the line may cross the building envelope at some point well above the top of the building. The building is said to be completely depressurized. This may be as a result of a ventilation strategy that completely closes the fresh air supply and exhausts all stale air; there is no recirculation. This strategy relies only on uncontrolled air leakage for fresh air. A completely balanced system (the amount of outdoor air introduced into the ventilation system equals the amount of stale air exhausted) will have a neutral pressure plane about halfway up the building. In the event that the neutral pressure plane falls below the first floor, then the building is essentially pressurized. A ventilation strategy in which all the return air is recirculated (no air is exhausted to the outside) and mixed with outdoor air may completely pressurize the building.

For each floor below the neutral pressure plane, outside air leaks in through unintentional openings. This combines with fresh air supplied by the ventilation system to give a net contribution of fresh air to the building or floor. For floors above the neutral pressure plane, there is no leakage of outside air into the building; fresh air is only supplied by the building circulation system. Stale air either leaks out of the building envelope or is exhausted by the return air system of the building ventilation system.

DETERMINATION OF THE AVERAGE PRESSURE BELOW THE NEUTRAL PRESSURE PLANE

Figure 3.3.2 shows an example of a building with a linear pressure profile. The average pressure is calculated by integrating the pressure profile below the neutral pressure plane and dividing by the area of the envelope below the neutral pressure plane. If the distribution is linear, the integration is reduced to the determination of the average height of triangle whose x–axis is the distance from ground floor to the neutral pressure plane level and whose y–axis is the pressure difference across the envelope. Thus, the average pressure differential for a linear pressure distribution below the neutral pressure plane is simply:

$$P_{avg} = \frac{(P_o - P_i)_g}{2} \qquad (4)$$

where

$(P_o - P_i)_g$ is the pressure differential at ground floor.

Winds may cause this distribution to appear non–linear. The presence of elevator shafts and the degree of airtightness between floors can also cause the pressure distribution to become non–linear. The representation of the pressure profile across the envelope can be improved by a greater number of pressure measuring points over the envelope. Application of the linear approximation to determine the average pressure difference across the envelope will have to be weighed against the degree the pressure profile deviates from a linear profile. It may be necessary to perform the full integration to determine the average pressure difference across the envelope. Availability of appropriate pressure measuring instrumentation will obviously limit the number of points that can be measured simultaneously.

ESTIMATION OF THE AIR LEAKAGE COMPONENT

The flow through the envelope can be estimated for any pressure differential across the envelope according to the following empirical formula:

$$Q_i = C \cdot A \cdot \Delta P^n \qquad (5)$$

where

Q_i is the rate at which fresh air enters the building through uncontrolled air leakage.

C is a flow co–efficient derived from airtightness data.

A is the fraction of the building envelope surface area below the neutral pressure plane.

ΔP is the average pressure differential across the building envelope below the neutral pressure plane.

n is a flow exponent derived from airtightness data.

Thus, given the leakage characteristics of the envelope (C and n) from airtightness data, the flow (Q_i) through any portion of the envelope (A) can be estimated if the pressure differential (ΔP) across the envelope is known. The zone below the neutral pressure plane is the zone where outdoor air is leaking into the building. Using the exterior surface area of this zone and the average pressure as determined by equation (4) in the above equation will yield the air leakage flow.

Throughout this analysis it has been assumed that unless more specific information is available, the leaks are evenly distributed throughout the envelope and the flow co–efficient (C) can be weighted according to the fraction of envelope below the neutral pressure plane. More specific information can be obtained by determining the airtightness of the envelope for each floor.

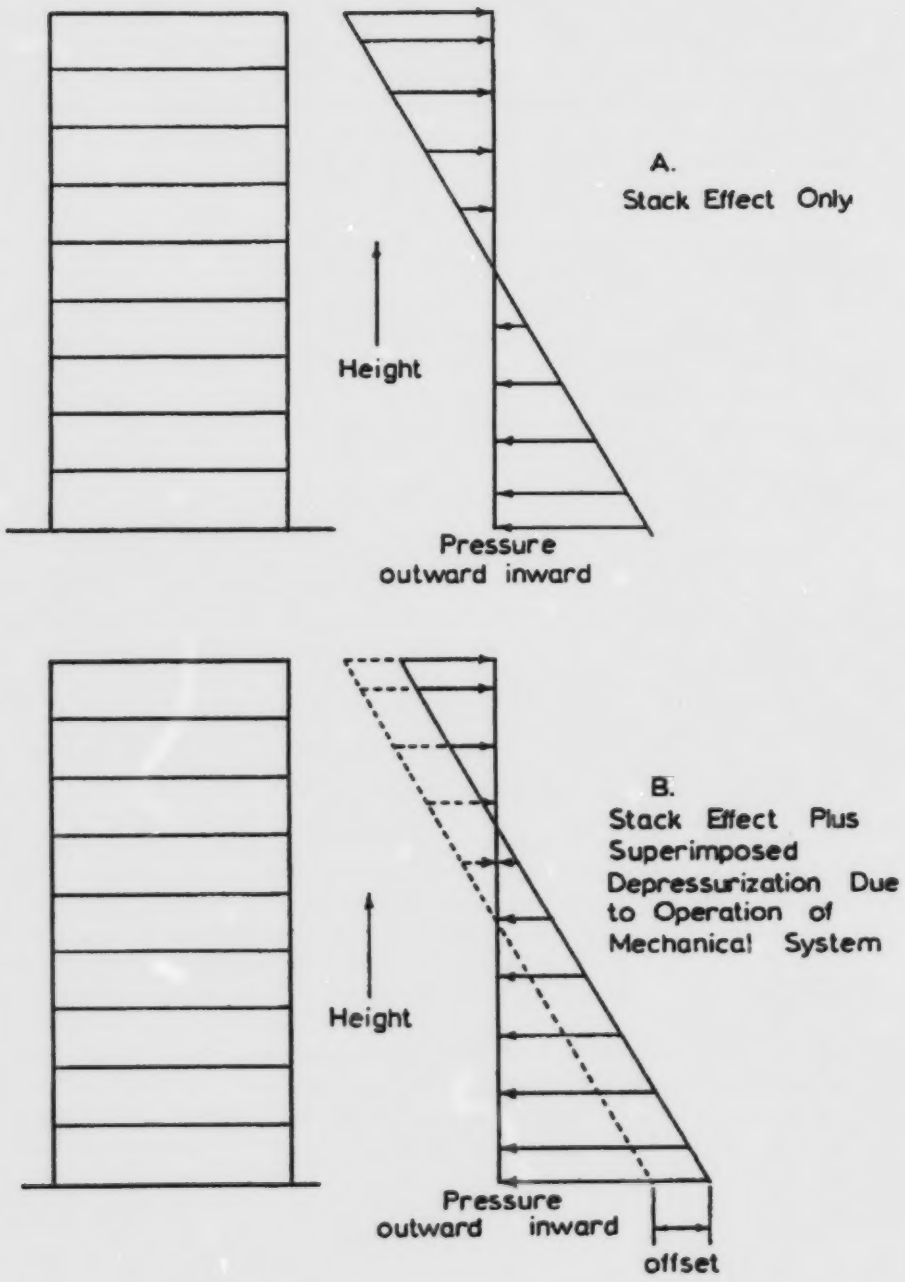


FIGURE 3.3.2. Pressure Profiles on Tall Building on Cold, Calm Day

DETERMINATION OF THE AMOUNT OF OUTDOOR AIR DELIVERED BY THE VENTILATION SYSTEM

The rate of outdoor air delivery by the ventilation system (Q_{OA}) is calculated by subtracting from the total air change rate of the building (Q_T), the rate at which fresh enters the building by air leakage (Q_i). This is expressed as follows:

$$Q_{OA} = Q_T - Q_i \quad (6)$$

COMPARISON WITH REQUIRED OUTDOOR AIR SUPPLY RATE

The amount of outdoor air required is a function of the number of people that occupy the building and their activity level. For sedentary activities (typical of office buildings) ASHRAE 62–1981R stipulates the minimum required ventilation rate for such activities to be 36 m^3/hr per person. Thus, the amount of outdoor air (Q_{OA}) required for a building can be calculated as follows:

$$Q_{OA} = \text{No. of office workers} \times 36\ m^3/hr \quad (7)$$

Subsequently the rate of outdoor air supply (equation 6) can be compared to the required outdoor air supply rate (equation 7).

3.3.5 Resource Allocation and Timing

Since the building mechanical systems are operating under typical occupied conditions, the following tests may be performed concurrently with the tracer gas tests; air quality, thermal comfort, mechanical system monitoring, electrical system testing, acoustics (ambient noise levels of workspaces), thermographic inspection of the envelope, functional use analysis and building lighting measurements.

Since several tests are planned under different modes of operation of the building circulation system, judgement will have to be used to determine under which mode of operation other tests may be performed concurrently. It is likely that the best time for concurrent testing will be for the system as found.

Since the operation of the mechanical systems will have to be altered, testing has to be scheduled for off hours. Air quality team members are required for analysis of air samples. Mechanical systems team members are required for set up and operation of the mechanical systems during the testing. Other support members are required to seed the tracer gas, collect air samples and obtain pressure measurements.

Approximately 10 people are involved in carrying out this test. The test procedures are very labour intensive and only a few activities can be automated.

3.3.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Release and sampling information is listed on data sheets as shown in Appendix 5.8 These data sheets and all working papers associated with the analysis are retained in the project files.

4. REFERENCES

Airtightness and Pressure Monitoring, D36, Building Performance Evaluation Series, Public Works Canada, March 1988

ASHRAE Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Standard 62–1981R, The American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., Atlanta (1981).

Grimsrud, D., **Tracer Gas Measurements of Ventilation in Occupied Office Spaces**, Ann. Am. Conf. Gov. Ind. Hyg., Vol. 10, 1984.

Operating Manual, AID Model 511 Portable Gas Chromatograph, Analytical Instruments Developments, Ltd.

Operating Manual, 3390 Recording Integrator, Hewlett Packard Ltd.

Operating Manual, Dynacalibrator Model 340, Vici Metronics Ltd.

Operating Manual, SC 100 Permeation Oven, CEA Instruments.

Pollutant Evaluation, D01, Building Performance Evaluation Series, Public Works Canada, March 1988.

Pollutant Migration, D02, Building Performance Evaluation Series, Public Works Canada, March 1988.

Tamura, G. and Evans, R., **Evaluation of Evacuated Glass Tubes for Sampling of SF_6/Air Mixture for Air Exchange Measurement**, ASHRAE Journal, October 1983.

Total Building Performance Study of the Harry Hays Building, Calgary. Architectural and Building Sciences, Public Works Canada, 1984.

Total Building Performance Study of the Winnipeg Taxation Data Centre. Architectural and Building Sciences, Public Works Canada, 1984.

5. APPENDICES

5.1 STANDARD TERMS AND UNITS OF MEASUREMENT

zone
a defined volume of occupied space.

air change rate
The rate at which stale air within a given zone is exchanged for outdoor air. The exchanged air is a combination of outdoor air supplied by the ventilation system and outdoor air which enters the zone through unintentional openings in the envelope.

air leakage rate
The air leakage rate is the rate at which outdoor air enters the zone through unintentional openings.

ventilation system
A system of supply and return air fans, ducts and plenums which make up the building circulation system. The ventilation system is designed to exhaust stale air from a zone and replace it with make up air through supply registers. The make up air is a combination of re–circulated air and outdoor air.

ventilation rate
The rate at which air is supplied to the zone by the building circulation system. This air may be a combination of stale air (in the case of re–circulated air) and outdoor air brought in through the fresh air supply.

outdoor air
Air that enters the building from outside free of indoor pollutants. Outdoor air may enter the building both by air leakage through unintentional openings and by the building ventilation system through the fresh air supply duct.

stale air
Air which enters a zone from adjacent zones and carries with it pollutants from other zones. Stale air may enter a zone either by diffusion and leakage from other occupied zones or in a diluted form through the supply registers of the ventilation system (re–circulated air).

5.2 GOVERNING AUTHORITIES AND REGULATIONS

ASHRAE Ventilation Standard 62–1981R

Current ASHRAE standards assume 0.25% CO_2 as an acceptable limit for occupied spaces. The standard recommends a minimum rate of 36.0 m^3/hr per person for sedentary activity to keep the CO_2 level in an occupied space at or below 0.25% under steady state conditions.

5.3 TRACER GASES AND THEIR PROPERTIES

TRACER GAS	CHEMICAL SYMBOL	GRAM MOLECULAR WEIGHT	THRESHOLD LIMIT VALUE CONC. (ppm)	ESTIMATED MINIMUM DETECTABLE (ppm)	DENSITY (ng/m1 @ 20°C & 101.3 Pa)
Sulfur Hexafluoride	SF_6	146	1000	0.0001	0.61
Octafluorocyclo Butane (Freon C-318)	C_4F_8	200	-	0.05	0.93
Hexafluoroethane (Freon 116)	C_2F_6	138	-	0.05	0.57
Dichloro Difluoro Methane (Freon 12)	$CC1_2F_2$	120.9	1000	0.05	0.50
Bromochloro Difluoro Methane (Halon 1211)	$CBrC1F_2$	165.4	(1)	0.05	0.69
Bromotrifluoro Methane (Halon 1301)	$CBrF_3$	149	(1)	0.05	0.62

(1) Appropriate lethal concentration (ALC) is greater than 300,000 ppm.

5.4 PRESSURE MONITORING

The following is an automated pressure monitoring technique which has been recently developed. This technique has been tested in the lab but not in the field. For a manual pressure monitoring method that has been field tested, refer to document D36 – Airtightness and Pressure Monitoring.

This method lists specific equipment and methods. Similar software and methods can be used with other equipment. For example, Campbell Scientific markets software and communication boards for AT and AT clone computers which negate the use of the C20 interface and the Crosstalk and Pressure software mentioned in the data analysis instructions.

1. EQUIPMENT REQUIRED
1.1 (24) Dwyer Pressure Transducers Model 601–1 *
1.2 (1) Baker Instruments Voltage Supply and Digital Readout
1.3 (1) 24 Volt Regulated Power Supply
1.4 500 metres Twisted 4 Pair Shielded 18 gauge Wire
1.5 (24) 240 Ohm 1% tolerance resistors
1.6 60 meters 5mm inside diameter plastic Tygon tubing
1.7 Level
1.8 (12) Plastic 'T' section Tygon tube connector
1.9 Small bottle of pressurised air c/w throttle valve.
1.10 Needle valve
1.11 Manometer accurate to 0.01" H_2O

1.12 (1) Campbell Scientific CR7 Data Logger
1.13 (2) Panasonic RQ 8300 program cassette recorder
1.14 (1) Campbell Scientific C20 cassette interface
1.15 (1) RS232 Cable
1.16 (1) IBM AT or compatible personal computer c/w floppy disc, hard disc, 512 Kbytes memory, math co–processor, enhanced graphics adapter, enhanced graphics display, MS/DOS
1.17 LOTUS 1–2–3 Spreadsheet program
1.18 OHM meter.
1.19 Analysis software

2. EQUIPMENT SET–UP

2.1 Enter the Building Name and Date at the top of the PRESSURE SET–UP CHART. An example chart is shown in Figure 5.4.

2.2 Locate positions on each face of the building at the top, bottom, and middle where the pressure measurements can be taken. Cut the end of the tygon tubing square and clean. If possible, open smoke control windows and extend the tygon tubing to the exterior of the building. Attach the exterior pressure taps to the exterior wall such that the square cut end of the tube points downward. Ensure that the tap is not in the direct influence of a draft from inside the building or an exhaust vent on the outside. Try to close the smoke control window but do not pinch the tube. In all likelihood the window cannot be closed tight without pinching the tube so place a small block of wood beside the tube , secure the window as nearly closed as possible and tape all around the window with duct tape. At the top and bottom of the building, doors and exit hatches may be the routes to pass the tygon tubing through the enclosure but in any event ensure the pressure taps are secured with square cut ends facing downward and horizontally aligned as closely as possible on each face.

2.3 Attach the other end of the tygon tubing to the 'T' connector.

2.4 Attach tygon tubing between one outlet of the T to the connector marked 'high' on the side of a 601–1 transducer. Enter Face, Floor and the DPW number of the transducer in the appropriate columns of the SET–UP CHART and place a '+' in the Pressure column.

2.5 Attach tygon tubing between the remaining outlet of the T to the connector marked 'low' on the side of a second 601–1 transducer. Enter, Face, Floor and the DPW number of the transducer in the appropriate columns of the SET–UP CHART and place a '–' in the Pressure column.
(Note: the + or – sign in the pressure column corresponds to the high or low connection made on the side of the transducer)

2.6 Level both the transducers.

2.7 Calibration. Attach the Baker Instruments Power Supply and digital readout cable to the transducer and turn it on. Detach the tygon tubing leading from the transducer at the 'T' and leave it open to the atmosphere. Adjust the 'zero' adjustment on the front of the transducer until the digital readout indicates 00 %. Attach the free tygon tube end from the transducer and attach it to the calibration set–up. Adjust the needle valve on the calibrator until the pressure reads 0.4". Now adjust the 'span' on the front of the transducer until the

reading on the digital readout is 80%. Detach the tygon tubing momentarily and check that the reading returns to 00. If it does not, adjust the 'zero' again and repeating this process until both the 00% and 80% match the "no" pressure and 0.4" pressure. Detach the tygon tubing from the calibrator and reattach it to the 'T'. Detach the Baker Instrument cable from the transducer. Repeat for the second transducer.

2.8 Attach the 7 pin connector to each of the transducers and connect the other end to the terminal strip. Connect wires one and two to the 24 VDC connections and a 24 Volts DC source. Connect the two output wires from each transducer to the connections for the signal cable.

2.9 Set up the CR7 data logger in a main location. Connect the two pairs of control wires from the first transducer mentioned in section 2.7 to Row 1 position 1 high and low connectors. Enter the channel number (1–01) on the SET–UP SHEET. Measure the exact resistance of a 240 Ohm resistor with the OHM meter. Enter this value on the SET–UP CHART and install the resistor across the Row 1 Position 1 high and low connectors in parallel with the control wires. Repeat this procedure for the second transducer (that is at the same location as transducer No. 1 but connect this transducer to Row 1 Position 2 high and low connectors. Again enter the position 1–02 and the new resistor value in the SET–UP CHART and install the resistor.

2.10 Repeat procedures 2.2 through 2.8 for each pressure measurement location. Note however that when the 15th transducer transmitter wires are connected to the CR7 they should be connected to Row 3 Position 1 (3–01) rather Row 2 since Row 2 has an RTD compensation channel and is best left reserved for thermocouple measurements)

2.11 When all connections have been made. Program the CR7 to sample the 24 channels of pressure at the time interval required by the specific test. Attach the data cassette recorder (Note data should be recorded in the 'Decode' mode) and start the program.

2.12 Allow the system to operate until the desired testing is complete or a tape is full.

3.0 DATA ANALYSIS

3.1 Attach the data cassette recorder to the C–20 Cassette Interface. Connect the RS232 cable between PORT 'A' on the C–20 and the IBM.

3.2 Ensure the Dip Switches on the front of the C–20 are set to the following: 11110110

3.3 Turn on the Power on the back of the C–20.

3.4 Turn on the computer.

3.5 At the 'C>' type in 'Crosstalk'.

3.6 At the Crosstalk 'Command:', type 'SPEED 19200'<Cr>.

3.7 At the Crosstalk 'Command:', type 'GO LOCAL'<Cr>.

3.8 At the Crosstalk 'Command:', type 'CA XXXXXXXX.YYY'<Cr>. where XXXXXXXX is the DOS filename where the data is to be stored to and YYY is the DOS file delimiter.

3.9 At the Crosstalk 'Command:', type <Cr>.

3.10 Turn the tape recorder on.

3.11 Data will now start appearing on the IBM screen.

3.12 When the screen stops scrolling and the green data light goes off on the C–20, turn the tape off.

3.13 Hit the 'ESC' key on the IBM.

3.14 At the Crosstalk 'Command:', type 'CA OFF'.

3.15 At the Crosstalk 'Command:', type 'QUIT'.

3.16 The pressure is now stored in the DOSFILE XXXXXXXX.YYY.

3.17 At the 'C>', type in 'PRESSURE'.

3.18 At the 'INPUT FILENAME:', type in XXXXXXXX.YYY.

3.19 At the 'TOTAL NUMBER OF CHANNELS RECORDED', enter a number between 1 and 24 that represents the number of transducer inputs that were recorded on the Cassette.

3.20 At the 'OUTPUT FILENAME', input an 8 character alphanumeric name but without a delimiter. The suggested name should be the same as XXXXXXXX.

3.21 At the 'BUILDING NAME', input the name of the building and then <Cr>.

3.22 At the 'TEST NAME', type in the name of the test and then <Cr>.

3.23 At the 'HOW MANY LOCATIONS IN THIS TEST', Input a number from '1' to '12' for 2 transducers per location and '1' to '24' for a single transducer per location. At this point specific transducer/location information is required.

3.24 At the 'ARE THERE TWO TRANSDUCERS (+ AND –) AT THIS LOCATION', type in a 'Y'(for yes) or 'N' (for no) and then a <Cr>.

3.25 At the 'FLOOR NO', Input the floor from the SET–UP chart.

3.26 At the 'LOCATION', Input the face from the SET–UP chart.

3.27 At the 'TRANSDUCER DPW NO.', enter the transducer DPW number from the chart.

3.28 At the 'RESISTOR VALUE', enter the resistance from the SET–UP chart.

3.29 At the 'CHANNEL NO.', enter the channel number from the chart.

3.30 At the 'PRESSURE DIRECTION' enter the '+' or '–' from the chart.

3.31 At this point, the program will loop back to 3.24. Continue to input data from the chart in response to the questions asked until all of the locations have been described at which point the data file will be processed and you will be returned to the MS/DOS 'C>'.

3.32 If you wish to observe the data at the 'C>' type in LOTUS 123.

3.33 Select the '/' key.

3.34 Move the cursor to 'FILE'.

3.35 Move the Cursor to 'IMPORT'.

3.36 Move the Cursor to 'TEXT'.

3.37 Move the cursor to select the filename which will be in the form XXXXXXXX.PRN.

3.38 The pressure data will now appear in LOTUS 1–2–3 format on the screen. You may use all of the LOTUS functions to manipulate, display or print the data in the form you require.

3.39 To exit, select '/'.

3.40 Select 'QUIT'.

3.41 Do not save the file.

3.42 At the 'C>', shut off the computer.

FIGURE 5.4
SAMPLE PRESSURE SET UP CHART

PRESSURE SET-UP CHART BLDG: _____ DATE: _____

LOCATION		TRANSDUCER DPW # (5 digits)	PRESSURE (+ or –)	CHANNEL NO. R–POS	RESISTOR VALUE (OHMS)
FACE	FLOOR				
South	7	16744	+	1–01	243
South	7	16745	–	1–02	237
West	7	16746	+	1–03	240
West	7	16747	–	1–04	240
North	7	16828	+	1–05	241
North	7	16831	–	1–06	236
East	7	18863	+	1–07	238
East	7	18864	–	1–08	244
South	7	18866	+	1–09	241
South	7	18867	–	1–10	239
West	7	18868	+	1–11	244
West	7	18869	–	1–12	240
North	7	18870	+	1–13	241
North	7	18871	–	1–14	241
East	7	18872	+	1–15	243
East	7	18873	–	1–16	237

5.5 SOURCES OF MATERIALS AND EQUIPMENT

Analytical Instruments Developments (AID) Model 511 portable gas chromatograph with electron capture detector	– Levitt–Safety Ltd.
Chromacil 310 chromatographic column 80/100 mesh, 10' x 1/8"	– Chromatographic Specialities Ltd. Brockville, Ontario K6V 5W1
Argon/Methane carrier gas	– Matheson Gas Products
HP 3390 Integrator	– Hewlett Packard Ltd.
Linear 142 chart recorder	– Allied–Fisher Scientific
Calibration Gases	– Matheson Gas Products
Gas Standard Generator	– Applied Research Products (Dynacalibrator)
Permeation Oven	– Aquatronix Inc. (SC 100)
B–D disposable syringes	– Canlab
Vacutainers	– Canlab

5.6 AID MODEL 511 GAS CHROMATOGRAPH START–UP AND CALIBRATION

The following is a brief description of the set–up and calibration of the AID Model 511 gas chromatograph with a Hewlett–Packard 3390 electronic integrator.

5.6.1 Gas Chromatograph Set–up

- To perform the following test use a Chromacil 310, 8' x 1/8" diameter stainless steel column.
- Connect GC to the battery charger pack (charger pack and GC set to "OFF").
- Install carrier gas line to "Carrier Port" on the top of the GC. The carrier gas is 5% methane in argon.
- Set pressure regular on the cylinder (using a two stage regulator) to deliver 80 psi. GC internal pressure regulator should indicate greater than 60 psi.
- Turn carrier flow knob on top of GC until a pressure of approximately 30 psi (±1psi) is obtained. This head pressure should give approximately 37 cc/min. Column flow can be verified with a bubble meter connected to the detector outlet.
- Turn battery charge pack and GC to "ON" position.
- Connect integrator to the GC.
- Let the system equilibrate, preferably overnight.

5.6.2 Detector Signal Verification

Baseline Signal Monitoring

The purpose of this verification is to obtain information on the instrument's installation condition such as purity of carrier gas, leaks in the system, column bleeding, and electronic noise.

Monitor the baseline signal from the detector cell by setting the integrator parameters, the electrometer range and the attenuator as indicated in Figure 5.6.1. Figure 5.6.2 shows the cell baseline signal.

```
LIST:  LIST
PEAK CAPACITY:  1157

ZERO      =  10, 0.5
ATT 2↑    =  0
CHT SP    =  1.0
PK WD     =  0.04
THRSH     =  0
AR REJ    =  0
```

Figure 5.6.1 Integrator parameters (Plot mode).
(Electrometer range: 1, attenuator: 64)

Figure 5.6.2 Example of detector cell output

Standing Current Test

After the system is equilibrated a standing current test will show the cleanliness of the detector cell.

Follow procedures described on pages 6–10 in the AID Model 511 instruction manual. Set detector setting at range 102, attenuator at 64 and the integrator as in Figure 5.6.1.

The deflection of the signal from baseline gives the standing current of the detector in % full scale. Loss of standing current indicates a loss in sensitivity. A standing current of less than 10% full scale requires maintenance of the detector (see manual).

A standing current of approximately 80%, Figure 5.6.3, indicates a clean system with excellent response.

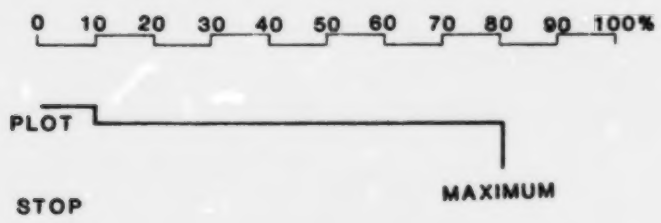


Figure 5.6.3 Standing current test.

5.6.3 **Calibration**

To perform calibration of the instrument set the integrator parameters as in Figure 5.6.4.

ZERO	=	10, 0.5
ATT 2↑	=	0
CHT SP	=	1.0
PK WD	=	0.04
THRSH	=	0
AR REJ	=	0

Figure 5.6.4 Integrator parameters.

Except for the "Zero" setting all other parameters are default values which are automatically set when the integrator is turned on. The GC electrometer range is set at 1 and the attenuator at 256. These parameters provide the maximum information from the detector signal. Detailed information on the operation of the Hewlett Packard 3390 integrator is described in the **Quick Reference Guide** or in the more detailed **Operation–Reporting Integrator Manual.**

It is important to understand that the calibration technique will be determined by the sample introduction method (injection) used for analysis (syringe or gas sampling valve). The same technique of injection should be used for both calibration and sample analysis.

For the determination of the tracer response factor, the analyst can use either peak area or peak height measurement. As in Figures 5.6.5 and 5.6.6, a linear response is obtained using either mode.

Calibration with Syringe. (For sulfur hexafluoride or Freon 12)

Injections of different concentration standards can be used to determine the linear range of the ECD (electron capture detector). If a wide linear range is needed an injection volume of 10 µl is recommended. Examples of this calibration technique are given in the following figures: 5.6.5 (SF_6 – peak area calibration); 5.6.6 (SF_6 – peak height calibration); and 5.6.7 (Freon 12 – peak height calibration). Figure 5.6.8 (SF_6 – peak area calibration) indicates that the top end of the linear range for SF_6 is at approximately 750 ppb for a 10 µl injection.

Another syringe technique to determine the linearity of the system is to use the same standard but vary the volume injected. An example of this calibration is given in Figure 5.6.9 (SF_6 – peak area calibration). This figure was generated by injecting various volumes of 57 ppb SF_6.

Calibration with Gas Sampling Valve (GSV)

Due to the large dead volume of the GSV (approximately 85 µl), the instrument calibration range was limited to concentrations of less than 150 ppb SF_6. A problem associated with the GSV is the pressure surge created when the sample is introduced into the system. This upset of the baseline in the sulfur hexafluoride elution peak area may cause problems with the proper integration of the peak at very low concentrations.

Linear Regression

Slope	=	133.1365
Correlation	=	.9999954
Ordinate	=	-121.26892
Abscissa	=	.9109
Inverse of slope	=	.00751109

X 1	=	0	Y 1	=	0
X 2	=	57	Y 2	=	7333
X 3	=	579	Y 3	=	76978

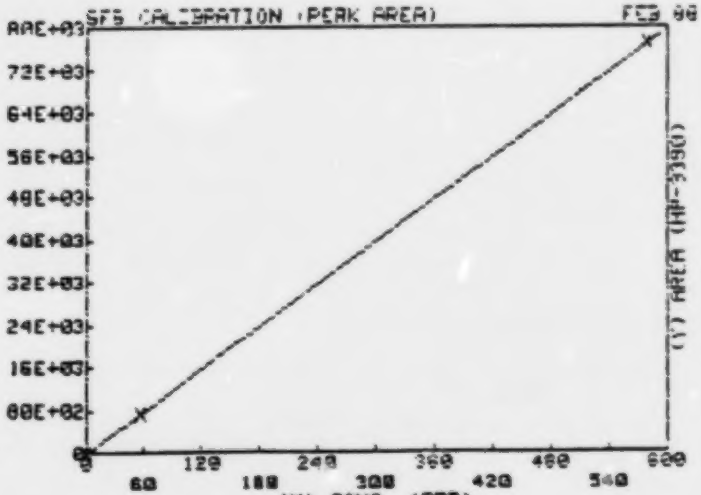


Figure 5.6.5 SF_6 – peak area calibration (10 µl injection).

```
***Linear Regression***

Slope                =     60.0613
Correlation          =       .9999778
Ordinate             =    120.664
Abscissa             =     -2.00901
Inverse of slope     =       .0166496

---------------------------------------------------------

X 1  =  0                    Y 1  =  0
X 2  =  57                   Y 2  =  3678
X 3  =  579                  Y 3  =  34883
```

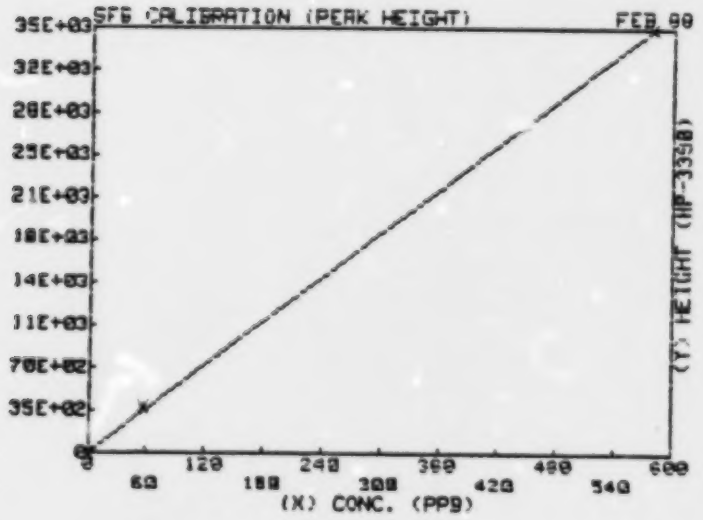


Figure 5.6.6 SF_6 – peak height calibration (10 µl injection).

Linear Regression

Slope	=	347.8105
Correlation	=	.9997369
Ordinate	=	-3.14418
Abscissa	=	.00904
Inverse of slope	=	.00287513

X 1	=	0	Y 1	=	0
X 2	=	2.15	Y 2	=	713
X 3	=	4.6	Y 3	=	1639
X 4	=	9.2	Y 4	=	3183

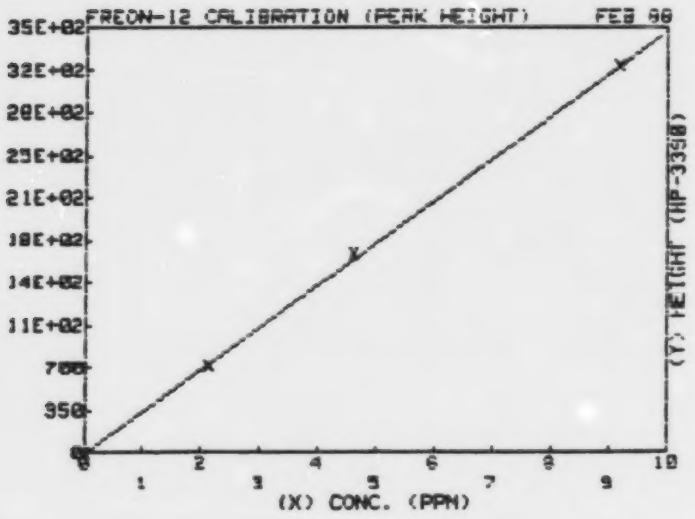


Figure 5.6.7 Freon 12 – peak height calibration (10 µl injection).

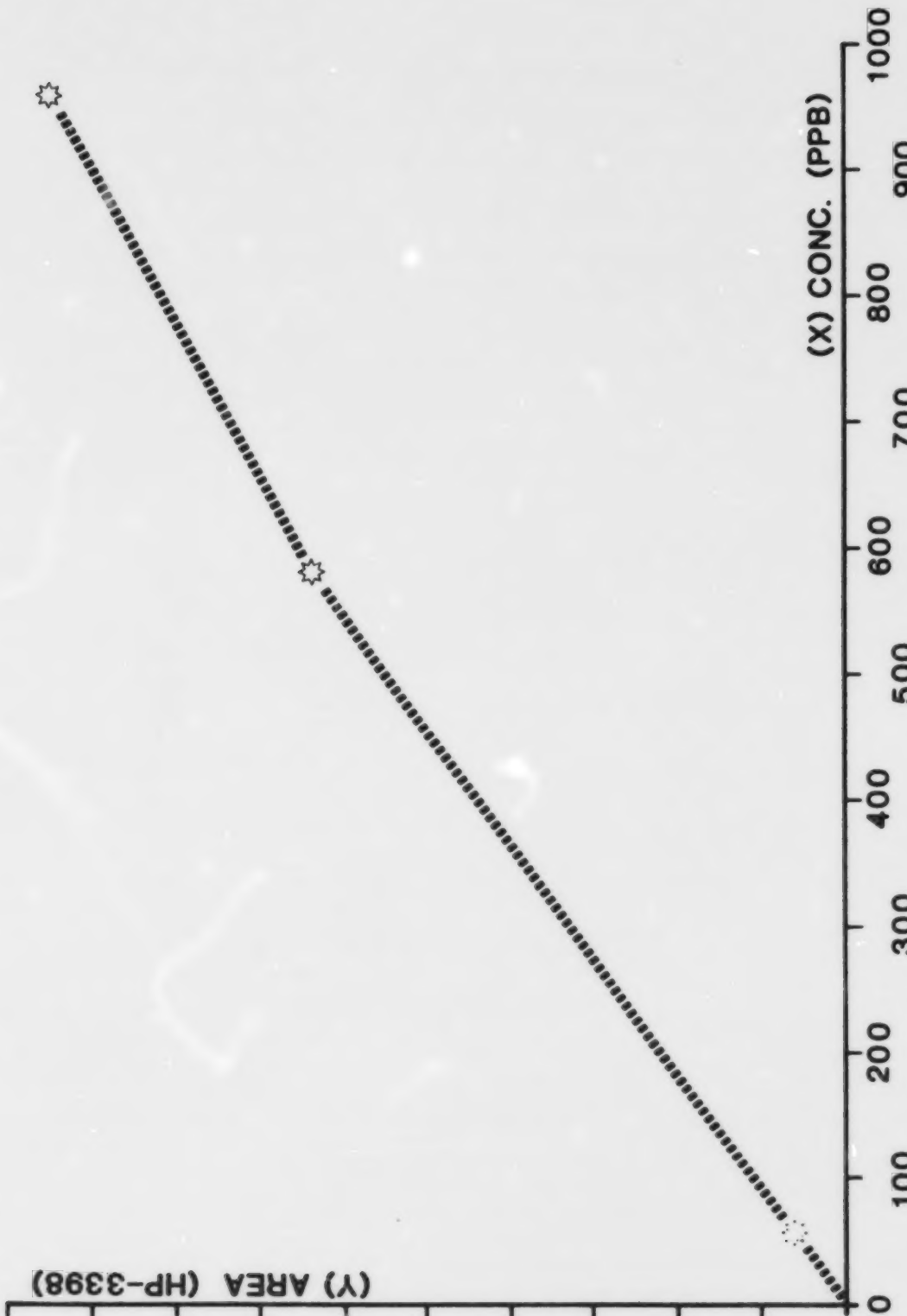


Figure 5.6.8 SF_6 – peak area calibration (10 µl injection).

Linear Regression

Slope	=	724.5698
Correlation	=	.9995004
Ordinate	=	844.4397
Abscissa	=	-1.16544
Inverse of slope	=	.00138013

X 1	=	0	Y 1	=	0
X 2	=	5	Y 2	=	3765
X 3	=	10	Y 3	=	7930
X 4	=	20	Y 4	=	16558
X 5	=	40	Y 5	=	30349
X 6	=	60	Y 6	=	44988
X 7	=	80	Y 7	=	59296
X 8	=	100	Y 8	=	72109

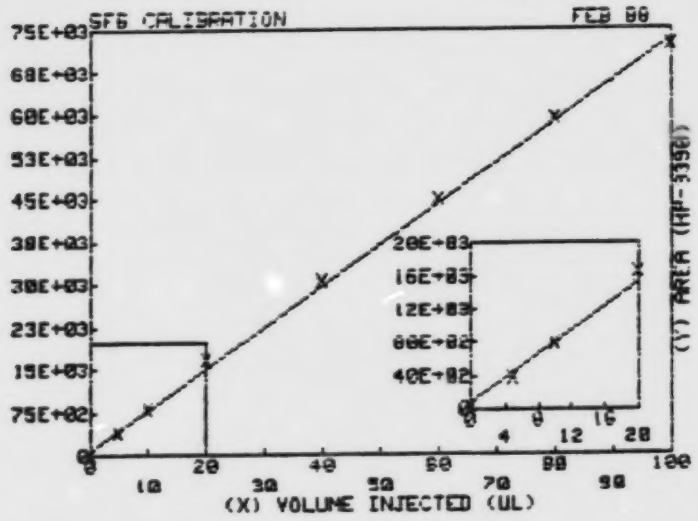


Figure 5.6.9 SF_6 – peak area calibration (different volumes injected).

5.7 ESTIMATION OF DESIRABLE RELEASE RATES

Procedure

1. Calculate the approximate total volume of air in the building (V).

2. Assume that tracer gas will spread evenly throughout the entire building.

   Determine the linear range of the tracer gas(es) to be used. Try for an initial equilibrium concentration (C_{eq}) equal to 3/4 of the maximum detectable by the linear range.

3. Calculate the total volume of tracer to release (Q_r).

$$Q_r = C_{eq} \times V$$

4. (a) Calculate the release rate (G) for a five minute release.

$$G = Q_r / t$$

   (b) Calculate the proportional amount to release for each zone (Q_z).

$$Q_z = V_z / V$$

Sample Calculation – for Sulphur Hexafluoride

1. Calculate the approximate total volume of air in the building.

Gross floor area of building (A)	18,000 m²
80% of A to allow for interior walls and furnishings	14,400 m²
Slab to slab height (h)	3.5 m
The approximate volume of building (V)	
A x h	50,400 m³

2. Linear range of GC for sulfur hexafluoride is 5–400 ppb.
   Target concentration is 3/4 of maximum.

$$C_{eq} = 0.75 \times 400 = 300 \text{ ppb}$$

3. Calculate the total volume of tracer to release.

$$Q_r = 300 \times 10^{-9} \times 50{,}400 \text{ m}^3$$
$$= 0.015 \text{ m}^3$$
$$= 15.12 \text{ L}$$

4. (a) A single point release into the central HVAC air handler requires the release of 15 L over a 5 minute period. Therefore release 3 L/min into the air handler to obtain good mixing.

   (b) A multi-point release requires the division of the 15 L proportionately for each zone (by volume) into a gas bag for each zone.

5.8 AIR QUALITY DATA SHEETS

TRACER GAS RELEASE RECORDS

Discipline: Air Chemistry

Test Type: Tracer Gas

Building: _____

Date: _____

Test Series No: _____

Test Conditions: _____

Location	Tracer Gas	Release Rate (L/min)	Amount Released (L)	Start Time

TRACER GAS SAMPLE RECORDS

Discipline: Air Chemistry

Test Type: Tracer Gas

Test Type: Tracer Gas

Building: ______________________________

Date: ______________________________

Test Series No: ______________________________

Test Conditions: ______________________________

____

____

____

☐ Source ☐ Target ☐ Route ☐ Control

Sample No.	Time Taken	Tracer Gas	GC Peak Ht.	Response Factor	Conc. (ppb)

5.9 BUILDING PERFORMANCE EVALUATION DOCUMENT LIST

Documents in this series have been divided into four classes. Class A documents describe the use of documents in the other three classes. Class B is a catalogue of tests which includes an index and cross reference list. Class C documents provide an overview of the three performance areas and summarize the Class D documents in the respective area. Class D documents contain descriptions of performance attributes and detail means of assessing those attributes.

	A1	Project Manager's Guide
	A2	Property Manager's Guide
	B1	Catalogue of Tests
Overviews	C1	Environmental and Energy Performance
	C2	Functional Performance
	C3	Systems and Material Performance
Environmental and Energy Performance	D01	Pollutant Evaluation
	D02	Pollution Migration
	D03	Thermal Environment Evaluation
	D04	Global Evaluation: Energy Performance
	D05	Component Evaluation: Energy Performance
	D06	Equipment and Systems Evaluation: Energy Performance
	D07	Retrofit Evaluation: Energy Performance
	D08	Acoustic Environment Evaluation
	D09	Air Circulation Evaluation
	D10	Illumination Evaluation
	D11	Weather Data Collection
Functional Performance	D20	Record and Archive Analysis
	D21	Plan Annotation
	D22	Focused Interviews
	D23	Questionnaires
	D24	Observation
Systems and Material Performance	D30	Structural Walls and Columns: Condition Survey
	D31	Structural Slabs and Roofs: Condition Survey
	D32	Parking Garages: Condition Survey
	D33	Mechanical Systems Evaluation
	D34	Mechanical Controls Evaluation
	D35	Electrical Systems Evaluation
	D36	Airtightness and Pressure Monitoring
	D37	Measurement of Outdoor Air Supply Rate
	D38	Thermographic Inspections of Building Enclosures
	D39	Thermal Resistance Measurement
	D40	Moisture Content Inspections
	D41	Roofing Systems Evaluation

Travaux publics Canada
Services d'architecture et de génie

Public Works Canada
Architectural and Engineering Services

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Mesure de la vitesse d'échange d'air extérieur

Document D37

Canada

Travaux publics Canada | Public Works Canada

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Mesure de la vitesse d'échange d'air extérieur

Document D37

AES/SAG 1-4:86-46

Mars 1988

Le ministre des Travaux publics ne fait aucune recommandation ni n'endosse sous quelque forme que ce soit, exprimée ou tacite, cette publication ou les programmes ou l'information qu'elle contient quant à leur qualité, leur commercialisabilité, leur pertinence pour une fin particulière ou leur capacité à produire un résultat quelconque. En aucun cas, le Ministre ou Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, ses employés, fonctionnaires ou agents gouvernementaux ne peuvent être tenus légalement responsables à l'égard de quiconque pour tout préjudice direct, indirect ou découlant de l'utilisation de ladite publication ou des programmes ou de l'information qui y sont contenus.

Publiés par les Services d'architecture et du génie
Travaux publics Canada

Travaux publics Canada / Public Works Canada

FICHE SIGNALÉTIQUE DE DOCUMENT

1. Titre du document MESURE DE LA VITESSE D'ÉCHANGE D'AIR EXTÉRIEUR	2. Numéro de contrôle AES/SAC 1-4:86-49
	3. Date mars 1988
4. Auteur(s)	5. No de réf. du conseil
6. Chargé de projet	7. No de la collection technique D37
8. Nom et adresse de l'organisme rédacteur Division du rendement des immeubles, T.P.C. Local C-548, Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Téléphone : (613) 998-7830	9. Type de document Lignes directrices
	10. Nombre de pages 43
11. Nom et adresse de l'organisme promoteur Technologie du design, de la construction et de l'immobilier Programmes de soutien à la gestion immobilière fédéral Logement	12. No de dossier de TPC A4270-16
	13. No de projet de TPC 602055
14. Notes Toutes questions ou commentaires doivent être dirigés à l'organisme rédacteur, se référer à ci-haut.	15. No de publication de ASC
	16. ISBN

17. Résumé

Ces dernières années, la quantité d'apport d'air neuf dans les immeubles a été réduite au profit des économies d'énergie. Simultanément, la qualité de l'air dans les immeubles est devenue une préoccupation majeure.

L'une des fonctions du système de ventilation étant le maintien de la qualité de l'air, on a recours à certaines techniques pour déterminer l'efficacité d'un système. Le présent document décrit une méthode de mesure par gaz traceurs qui permet d'évaluer la capacité d'un système de ventilation de fournir de l'air extérieur.

18. Diffusion Exemplaires disponibles: Centre de documentation Services d'architecture et de génie Travaux publics Canada Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Mots clés	
	20. No de catalogue du centre de documentation BP D37	21. Prix

TABLE DES MATIÈRES

1.	**INTRODUCTION**	1
1.1	Buts et objectifs	1
1.2	Informations générales	2
2.	**DÉLIMITATION DU SUJET**	4
2.1	Cadre général	4
2.2	Limites de la technique d'évaluation	4
3.	**MÉTHODOLOGIE**	6
3.1	Étape 1 – Évaluation préliminaire	6
3.1.1	Description des techniques	6
3.1.2	Équipement	7
3.1.3	Démarche détaillée	7
3.1.4	Évaluation	8
3.1.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	8
3.1.6	Documentation: établissement et classement des documents de travail	9
3.2	Étape II – Techniques de mesure simples	9
	Sans objet	
3.3	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	9
3.3.1	Description des techniques	9
3.3.2	Équipement	10
3.3.3	Démarche détaillée	10
3.3.4	Évaluation	15
3.3.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	20
3.3.6	Documentation : établissement et classement des documents de travail	21
4.	**RÉFÉRENCES**	22
5.	**ANNEXES**	23
5.1	Termes et unités de mesure normalisés	23
5.2	Autorités compétentes et règlements	23
5.3	Les gaz traceurs et leurs propriétés	24
5.4	Contrôle des pressions	24
5.5	Provenance des matériels	30
5.6	Mise en marche et étalonnage du chromatographe à gaz AID modèle 511	30
5.7	Évaluation des vitesses souhaitables de diffusion	39
5.8	Feuille de données pour la qualité de l'air	41
5.9	Liste des documents pour l'évaluation du rendement des bâtiments	43

LISTE DES FIGURES

3.3.1	Exemple de chromatogramme	*15*
3.3.2	Profils des pressions sur un grand immeuble par temps calme et froid	*19*
5.4	Exemple d'un tableau de montage–pressions	*29*
5.6.1	Paramètres de l'intégrateur (en mode courbe)	*31*
5.6.2	Exemple de signal de sortie de la cellule du détecteur	*31*
5.6.3	Essai ampérométrique (courant réel)	*32*
5.6.4	Paramètres de l'intégrateur	*32*
5.6.5	SF_6 – Étalonnage par l'aire du pic (injection de 10 µL	*34*
5.6.6	SF_6 – Étalonnage par la hauteur du pic (injection de 10 µL)	*35*
5.6.7	Fréon 12 – Étalonnage par la hauteur du pic (injection de 10 µL)	*36*
5.6.8	SF_6 – Étalonnage par l'aire du pic (injection de 10 µL)	*37*
5.6.9	SF_6 – Étalonnage par l'aire du pic (injection de différents volumes)	*38*

1. INTRODUCTION

Le présent document décrit une méthode qui permet grâce à des gaz traceurs d'évaluer la capacité des systèmes de ventilation de fournir de l'air extérieur. Les techniques proposées s'appliquent surtout aux grandes tours à bureaux, mais on peut les adapter aux autres types d'immeubles.

Nombreux sont les facteurs qui ont contribué au soucis grandissant de la qualité de l'air dans les immeubles. Parmi ceux–ci, on compte,

- l'étanchéité accrue de l'enveloppe des immeubles,
- la réduction de l'apport d'air extérieur au profit d'économies d'énergie,
- les nouvelles approches dans la conception des systèmes de ventilation, et
- l'usage de plus en plus fréquent de matières synthétiques dans l'ameublement et le tissu des immeubles.

La principale fonction du système de ventilation étant de maintenir une bonne qualité de l'air, on a recours à certaines techniques pour déterminer l'efficacité des systèmes. Ces techniques seront utilisées dans diverses circonstances, dont :

- la mise en service d'un système neuf ou modifié,
- l'évaluation des résultats des essais d'équilibrage d'un système,
- l'examen des plaintes concernant la qualité de l'air,
- le suivi d'études indiquant l'existence de problèmes de qualité d'air attribuables à la mauvaise performance du système de ventilation.

1.1 BUT ET OBJECTIFS

Les méthodes décrites permettent de mesurer le taux suivant lequel un système de ventilation introduit l'air extérieur dans un immeuble. Les résultats peuvent servir de paramètres spécifiques dans des modèles d'analyse de l'énergie afin de déterminer d'une part l'effet sur la consommation totale d'énergie de l'immeuble, de l'apport d'air extérieur par un système de ventilation et d'autre part, si ces données sont acceptables. Ces renseignements, complétés par les résultats d'autres essais (l'évaluation de la circulation d'air, par exemple) indiqueront si des modifications du système s'imposent ou si l'immeuble répond aux normes actuelles de TPC.

L'ASHRAE définit la "ventilation" comme étant "dans une enceinte, l'introduction et l'évacuation de l'air, par des moyens naturels ou mécaniques. Cet air peut être traité ou non".

Un aspect important de la performance d'un système de ventilation – que la méthode proposée tentera d'évaluer – peut être défini comme : la capacité d'un système de fournir l'air à tous les locaux d'un immeuble et de l'en extraire. Cependant, certaines précisions sont nécessaires.

Il est inutile d'extraire l'air vicié d'un local d'un immeuble pour le remplacer par un air aussi vicié provenant d'un autre local. Il n'y aura aucun changement à moins que l'air

de remplacement ait subi un certain traitement ou qu'il ne s'agisse d'air frais extérieur. En général, dans les immeubles à bureaux, le seul traitement disponible demeure la filtration et ce procédé ne suffit pas à éliminer les nombreux polluants qui s'accumulent dans l'air des immeubles. Aussi, est–il important de connaître le taux d'échange entre l'air intérieur et l'air extérieur – c'est le principal critère de la performance d'un système de ventilation.

Le présent document propose d'évaluer cette performance grâce à une technique utilisant un gaz traceur unique pour déterminer le taux global de renouvellement d'air d'un immeuble réalisé par le système de ventilation.

1.2 INFORMATIONS GÉNÉRALES

Les taux d'extraction de l'air vicié et d'introduction de l'air extérieur, surtout dans les grands immeubles, peuvent être très différents de ceux prévus lors de la conception. Ces différences peuvent dépendre de certaines variations dans les paramètres de construction :

- décisions prises sur le chantier de construction;
- détails d'installation, dûs surtout à des divergences entre corps de métier;
- mauvais équilibrage initial du système de ventilation;
- modifications de l'aménagement intérieur de l'immeuble ou du système de ventilation, ultérieures à la construction de l'immeuble;
- différence entre les niveaux réels de fonctionnement des systèmes et les niveaux prévus (par ex. les pressions des systèmes CVCA).

L'étude de la vitesse de renouvellement d'air constitue donc une composante importante dans l'évaluation générale de la performance du système mécanique. L'issue de cette étude peut apporter des éclaircissements aux résultats des analyses sur la qualité de l'air et des questionnaires soumis aux occupants. Les conclusions de l'évaluation du système de ventilation peuvent souvent être mises en corrélation avec les résultats de l'étude sur la circulation de l'air et des données sur la migration des polluants.

Les modifications apportées au taux de renouvellement d'air prévu lors de la conception ne sont pas nécessairement nocives ou inefficaces. Pour évaluer l'immeuble et le lieu de travail des occupants, il est nécessaire de bien évaluer toutes les caractéristiques d'ensemble des mouvements d'air. Ces notions peuvent servir à expliquer divers problèmes constatés au sujet du débit d'air, de la ventilation, de la température, de la qualité de l'air et de la migration de la pollution et aideront à résoudre ces problèmes. Il est également nécessaire de bien comprendre comment la performance actuelle sera affectée par les éventuelles solutions aux problèmes qui ne sont pas directement reliés à la ventilation.

Le taux de renouvellement d'air d'un bâtiment se constitue de deux composantes :

- le flux d'air qui est aspiré par les prises d'air prévues et évacué par les sorties d'air aménagées, lorsque fonctionnent les ventilateurs du système de ventilation de l'immeuble, et

- l'infiltration et l'exfiltration d'air par les ouvertures incontrôlées de l'enveloppe de l'immeuble. Ces fuites (ou infiltrations selon l'ASHRAE) sont dues au vent, à l'effet de tirage et aux pressions créées par le fonctionnement des ventilateurs du système de ventilation de l'immeuble.

La composante infiltration sera toujours considérée dans le calcul de la vitesse de renouvellement d'air. Mais comme il s'agit d'un phénomène incontrôlable et inévitable, son importance variera suivant la force du vent et la différence entre les températures intérieures et extérieures. Sa distribution est également incontrôlable et elle risque d'être très aléatoire. Par conséquent, il serait préférable de ne pas tabler sur cet apport d'air neuf. Aussi devrait–on évaluer le taux d'infiltration d'air et le soustraire de la vitesse global de renouvellement d'air afin d'obtenir le renouvellement d'air attribuable au seul système de ventilation. La méthode proposée dans ce document inclut des techniques visant à isoler cette composante.

Une étude plus détaillée des fuites d'air est proposée dans le document D36 intitulée "Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air".

2. DÉLIMITATION DU SUJET

2.1 CADRE GÉNÉRAL

Les techniques pour déterminer le taux global de renouvellement d'air des immeubles sont très étayées. La méthode la plus simple consiste à injecter et à distribuer uniformément dans un immeuble un gaz traceur non toxique et non pénétrant. L'air extérieur (air neuf fourni à la fois par le système de ventilation et par les infiltrations à travers les ouvertures incontrôlées) entre dans l'immeuble et dilue le gaz traceur. On détermine le taux de renouvellement d'air (débit de remplacement de l'air vicié d'un immeuble par de l'air neuf) de l'immeuble en mesurant périodiquement la concentration moyenne du gaz traceur et en calculant, à partir de ces mesures, le taux de changement (taux de dissipation) de la concentration moyenne de gaz traceur. Le taux de dilution du gaz traceur par l'air neuf correspond à la mesure de la vitesse de renouvellement d'air de l'immeuble tout entier. Cette technique ne fait aucune distinction entre le taux d'air neuf fourni par le système de ventilation et le taux d'air neuf dû aux infiltrations.

La détermination de la composante infiltration (air s'infiltrant par les ouvertures incontrôlées) dans le taux global de renouvellement d'air dépend de l'application d'une relation empirique bien établie entre les fuites d'air, les différences de pression et les caractéristiques d'étanchéité de l'enveloppe. Cette relation est fondée sur des données d'essai d'étanchéité. Les constantes qui en découlent sont fonction du manque d'étanchéité de l'enveloppe de l'immeuble et servent à déterminer le débit d'air à travers l'enveloppe lorsque les différences de pression sont celles que l'on observe dans des conditions normales. Comme les essais par gaz traceur permettent de trouver le taux global de renouvellement d'air de l'immeuble ou de la zone et les données d'essai d'étanchéité, le taux d'infiltration, il suffit de calculer la différence pour trouver la part d'air extérieur fourni par le système de ventilation. Le protocole et l'équipement requis pour un essai d'étanchéité sont très similaires à ceux utilisés pour les essais sur le taux d'échange d'air extérieur.

2.2 LIMITES DE LA TECHNIQUE D'ÉVALUATION

Les techniques de mesure par dissipation du gaz traceur exigent un personnel assez important car la diffusion puis l'échantillonnage du gaz traceur doivent absolument avoir lieu au même moment en plusieurs points de l'immeuble. La procédure est également longue puisque l'on doit laisser les concentrations de gaz se dissiper pendant au moins une heure pour chacune des méthodes de ventilation mises à l'essai.

Cette technique de mesure suppose un mélange parfait du gaz et de l'air dans chacune des zones représentées par la concentration de gaz traceur. Idéalement, si le gaz traceur se mélange toujours parfaitement à travers l'immeuble, on doit pouvoir considérer comme représentatif de l'immeuble n'importe quel des points d'échantillonnage. Mais en réalité dans les bureaux, la qualité du mélange dans une zone varie suivant la capacité de mélange de l'air entre les différentes parties de cette zone. Or, plus le volume représentatif pour un échantillon donné de gaz traceur est élevé, plus la

possibilité d'erreur dans le calcul de la vitesse de renouvellement d'air sera grande si le mélange dans la zone n'est pas parfait.

L'évaluation de l'apport d'air extérieur dû aux infiltrations requiert deux données :

1) les constantes empiriques dérivées des essais d'étanchéité à l'air (par conséquent, un essai d'étanchéité à l'air doit être fait);
2) le profil des pressions enregistrées de chaque côté de l'enveloppe durant chacun des essais par gaz traceur.

L'exactitude du calcul de la part d'air extérieur dû aux infiltrations dépend beaucoup de la rigueur de ces deux mesures. De plus, la précision des profils des pressions est largement limitée par les instruments de mesure de pression utilisés.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 ÉTAPE 1 – ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE

3.1.1 Description des techniques

Analyse des documents d'archives

Avant de procéder aux essais sur site réel, l'équipe doit se familiariser avec l'aménagement de l'immeuble et ses installations mécaniques afin d'identifier :

- l'emplacement des prises d'air extérieur et des bouches de sortie;
- l'emplacement des commandes des installations mécaniques et les moyens permettant de modifier l'apport d'air extérieur;
- l'emplacement des grilles de soufflage et d'évacuation de l'air;
- l'emplacement logique des divers points d'échantillonnage du gaz traceur.

Avant la première visite des lieux, l'équipe étudie les dessins d'après exécution, s'ils sont disponibles, ou les derniers documents de conception. Elle prend notes de l'aménagement des installations mécaniques et surtout de l'emplacement des grilles de soufflage et d'évacuation de chaque zone unique, chaque étage ou chaque pièce de l'immeuble. Une attention toute spéciale est portée aux aires ayant des sources de pollution élevée comme les salles de toilette et les laboratoires. L'équipe relève également le nombre d'installations CVCA utilisées dans l'immeuble et le nombre de zones qu'elles desservent et identifie toute autre zone alimentée par des systèmes CVCA autonomes.

Revue générale de l'immeuble par les spécialistes

Ce niveau d'évaluation exige un sens aigu de l'observation puisqu'il s'agit de déceler tout problème potentiel dû à une combinaison de facteurs agissant sur le système de ventilation. Cette évaluation a lieu lors de la première visite de l'immeuble lorsque les membres du groupe d'étude responsable de la planification des essais de ventilation détermine l'état général du système de ventilation, identifie la méthode de commande utilisée et repère les grilles de soufflage et d'évacuation de chaque zone. Des photographies et des notes écrites sont prises pour faciliter la planification des autres visites et le schéma des points d'essais.

a) Annotation des plans – Les plans de situation et d'étage sont annotés pour permettre une référence immédiate aux données abstraites éventuelles. Les visites préalables des lieux servent à formuler des suppositions qui seront utiles aux opérations ultérieures. Cette méthode fait appel à l'esprit inventif et à la compétence d'un excellent observateur. Les examens devraient avoir lieu à différentes heures de la journée, lorsque l'immeuble est occupé et lorsqu'il est vide. Plus le plan annoté est précis, plus les données seront utiles aux analyses faites loin du site. Voir le document D21 "Annotation des plans".

b) Listes de vérification – Ces listes servent à guider les observations et à noter les conditions et leurs fréquences. Elles devraient contenir des indices évidents tels

que l'obstruction des grilles de soufflage ou d'évacuation, l'aménagement des cloisons fixes, la présence de poussière sur les grilles d'évacuation, les traces sur les grilles de soufflage, l'emplacement des prises d'air et des bouches de sortie, le type de vêtements additionnels portés par les employés, la présence de ventilateurs, appareils de chauffage ou humidificateurs personnels.

c) Photographies – Elles sont utiles lorsqu'elles indiquent comment l'environnement intérieur a été modifié dans un but précis. Elles montrent comment les occupants se sont adaptés à l'environnement ou l'ont modifié suivant leurs propres exigences de confort ou de ventilation. Ainsi, l'aménagement des cloisons en fonction des aires de circulation et de rencontre, de la salle de pause café et du fumoir, joue un rôle essentiel sur la distribution de l'air dans la zone et sur la façon dont les occupants ont adapté l'environnement selon le degré de confort.

d) Essais de repérage des courants d'air – On utilise des crayons fumigènes pour détecter les courants d'air légers et leurs directions dans une pièce, à proximité des fenêtres et des voies de fuite d'air possibles.

3.1.2 Équipement

Voici une liste du matériel requis :

a) appareils photo 35 mm équipés de divers objectifs et d'un flash portatif;
b) carnets de notes, réductions des plans pour annotation;
c) crayons fumigènes;
d) échelles avec petite et grande rallonges;
e) outils : couteaux de poche, ruban à mesurer, tournevis et vis, pinces, marteaux, produit de calfeutrage, ruban pour les essais légèrement dommageables;
f) combinaisons comme vêtement de protection dans les aires très sales;
g) documents de conception pour référence.

3.1.3 Démarche détaillée

Analyse des plans d'archive

Les détails suivants de l'installation mécanique sont analysés :

- la relation entre les grilles de soufflage et les portes et fenêtres;
- la relation entre les grilles d'évacuation et les grillles de soufflage;
- les aires desservies par des installations CVCA autonomes;
- l'emplacement des gaines techniques (mécaniques et électriques);
- l'emplacement des prises d'air extérieur et des bouches d'évacuation (vérification, entre autres, de la possibilité de court–circuitage de l'alimentation);
- l'emplacement des prises d'air extérieur en fonction des conduits d'évacuation (vérification d'une éventuelle reprise de l'air évacué);
- la puissance des ventilateurs de soufflage et d'évacuation;
- l'évaluation de la vitesse de renouvellement d'air dans la zone;
- la méthode de commande du système de ventilation (manuelle ou automatique). S'il s'agit d'un système de commande automatique, quels sont les critères de contrôle;
- les variations de la méthode de commande suivant les saisons.

Revue générale de l'immeuble

Lors de la revue générale, une visite en présence du gestionnaire de l'immeuble donne une vue d'ensemble utile aux membres de l'équipe et fournit des indications sur les activités courantes de l'immeuble et de l'emplacement de ces activités. Seront également visités les locaux des installations mécaniques et électriques, les constructions hors-toit et la chaufferie. On prendra note de l'état et de l'emplacement des conduits, des grilles et des louvres d'amenée d'air extérieur et d'évacuation. On devrait porter une attention spéciale à l'emplacement des prises d'air extérieur par rapport aux sources de pollution, y compris le plénum d'évacuation d'air. Cette visite sera également l'occasion pour l'équipe de discuter de tout problème de fonctionnement de l'immeuble avec l'ingénieur qui en est responsable. Il faudra, de plus, vérifier la différence relative entre les débits d'air soufflé et d'air repris.

Une revue générale est coonstituée de prises de notes, de rencontres avec des chefs de section des ministères, et d'inspections des éléments architecturaux internes, notamment les fenêtres, les cages d'escalier extérieures et les liaisons mur/plafond au-dessus des plafond suspendus. Une série de photos devra être prise de toute aire endommagée puis annexée aux plans d'étage. Chaque photo devrait être numérotée et être accompagnée d'un commentaire portant le même numéro.

Des essais de débit d'air sont effectés dans les zones suspectes ou lorsque les données concernant les flux d'air sont insuffisantes. Pour plus d'informations au sujet de l'utilisation des crayons fumigènes, se reporter à la section 3.2.3 du document D02 intitulé "Migration de la pollution".

Les notes sur l'emplacement des voies possibles d'infiltration d'air ou des anomalies dans les mouvements des jets d'air soufflé/évacué sont inscrites directement sur les plans.

3.1.4 Évaluation

On compile les données en plaçant toutes les informations sur les plans d'étage, les plans de situation et les élévations. L'équipe en fera l'évaluation à la lumière des connaissances sur les différents phénomènes inhérents au bâtiment dont l'humidité, la température, les mouvements d'air, les attaques chimiques et biologiques.

L'évaluation finale des données compilées sera effectuée en conjonction avec les résultats des essais suivants in-situ :

- essais des installations mécaniques;
- études d'analyse fonctionnelle;
- inspections thermographiques;
- études de résistance et de capacité;
- essais de la qualité de l'air;
- essais de vibration;
- essais sur la migration des polluants.

3.1.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Si tous les dossiers sont disponibles, une équipe de deux personnes peut effectuer l'analyse des plans et des archives en une journée de travail.

La revue générale ne demande à deux personnes qu'une seule journée pour un immeuble de 10 000 m². La rédaction du rapport requiert deux jours. Cela inclut les discussions, les interviews, les rappels et les recherches concernant les matériaux en place.

3.1.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Tous les documents, y compris les notes, les observations et les photographies, recueillis durant l'analyse des plans et des archives et la revue générale de l'immeuble doivent être conservés dans les dossiers du projet. Les résultats de l'évaluation préliminaire sont normalement présentés dans une note de service de projet.

3.2 ÉTAPE II – TECHNIQUES DE MESURE SIMPLES

not applicable

3.3 ÉTAPE III – MONITORAGE DÉTAILLÉ ET SPÉCIALISÉ

3.3.1 Description des techniques

La marche à suivre se détaille comme suit :

1. Toutes les fenêtres et les portes extérieures sont fermées. Les essais sont conçus pour mesurer le taux de renouvellement net de l'immeuble en période d'occupation.
2. Les registres sont positionnés et les commandes des ventilateurs réglées suivant une méthode de ventilation particulière. Les divers réglage seront faits après consultation avec l'ingénieur de l'immeuble.
3. Les différence de pressions intérieures et extérieures sont mesurées en suffisamment de points sur toute la hauteur et autour du périmètre de l'immeuble pour donner une représentation claire du profil des pressions.
4. Simultanément avec l'étape 3 ou peu après, le taux de renouvellmeent d'air dans l'immeuble est mesuré à l'aide de la technique du gaz traceur.
5. Les étapes 2, 3 et 4 sont reprises jusqu'à ce que les taux de renouvellment d'air pour toutes les méthodes de ventilation en jeu aient été mesurés.

Pour cet essai, on a le choix entre divers gaz traceur. Une liste des gaz qui conviennent avec leurs propriétés est donnée à l'article 5.3 de l'annexe. La préférence de l'enquêteur constitue le principal critère de sélection du gaz. L'hexafluorure de soufre (SF6u) est le plus usité et ses résultats sont comparables à ceux d'essais similaires réalisés par d'autres organismes.

L'essai devrait avoir lieu uniquement lorsque la vitesse des vents à tous les nioveaux de l'immeuble est faible, c'est–à–dire inférieure à 5 km/h, sinon le vent ferait varier les lectures de pression ce qui compliquerait l'analyse.

Comme il s'agit d'un essai complexe qui exige les efforts combinés de bon nombre de personnes, il est important d'avoir un plan d'action complet et spécifique basé sur l'information recueillie au cours de la première étape.

3.3.2 Équipement

Voici la liste du matériel requis.

DIFFUSION D'UN GAZ TRACEUR

Système libérant un volume connu de gaz traceur pendant une courte période (par ex. 0,5 L/min pendant 5 minutes. On peut atteindre ce résultat des deux façon suivantes :

a) des sacs remplis de gaz traceur, d'une contenance d'environ 1L, ou
b) une petite bouteille pourvue d'un détendeur à deux étages relié à un régulateur de débit étalonné,

- un chronomètre,
- des walkies–talkies,
- un compteur à bulles utilisé pour calibrer avec exactitude les débitmètres.

Échantillonage

- Des échantillons d'air sont recueillis dans des tubes en verre sous vide de 10 ml, à revêtement de silicone et bouchés d'un bouchon en caoutchouc butylique. (Ces tubes sont communément appelés tubes à sérum "vacutainer"). Un tube est requis pour chaque échantillon.
- Des étiquettes pour chaque tube à échantillon.
- Une seringue en propylène jetable B–D de 20 ml pourvue d'une aiguille hypodermique, pour chaque site d'échantillonnage.

Analyse

- Un chromatographe à gaz (CG) à détecteur à capture d'électron (DCE);
- Une colonne de chromatographie en acier inoxydable de chromacil 310,80/100 mailles au pouce, 10 pi X 1/8 po.
- Une bouteille de méthane à 5% dans l'argon (gaz vecteur) pourvu d'un f détendeur à deux étages.
- Un enregistreur graphique ou intégrateur destiné à enregistrer le signal de sortie du CG (chromatographe).
- Deux seringues étanches aux gaz (50, 100 et 500 µl) pour injection des échantillons.
- Des pièces de rechange pour le CG, dont des bouchons pour l'orifice injection, des colonnes de CG, divers adaptateurs vissants et des seringues étanches aux gaz.
- des étalons gazeux connus de gaz traceurs/air pour étalonnage de la colonne CG. On peut également utiliser un générateur étalon gazeux pour préparer des concentrations connues de traceur.

3.3.3 Démarche détaillée

ÉTALONNAGE DU CHROMATOGRAPHE À GAZ

Le CG doit être étalonné avant et après chaque jour de travail analytique. On effectue cette opération en analysant des concentrations connues de gaz traceur dans l'air et en

calculant le facteur de réponse du détecteur; pour une quantité particulière des gaz traceur injectés, le détecteur donne un pic d'une certaine hauteur. L'étalonnage du chromatographe à gaz AID modèle 511 est décrit en détails à l'article 5.6 de l'annexe. L'étalonnage décrit fournit une plage linéaire de 5 à 500 parties par milliard de SF_6 obtenu à l'aide d'un volume d'injection de 10 µl.

L'étalonnage du CG peut être effectué avec des étalons de gaz préparés en bouteille ou par la production à chaque jour d'étalons gazeux à l'aide d'un générateur d'étalon de gaz et de tubes de perméation.

Les étalons de gaz sont préparés à l'aide d'un générateur à étalon comme ci–dessous.

- Un dispositif de perméation est placé dans l'étuve du générateur d'étalon. L'étuve est réglé à la température requise pour obtenir le débit de perméation calibré en usine, conformément aux données fournies avec le dispositif de perméation.
- L'écoulement d'air passant par le générateur à étalon est réglé à différentes valeurs de débit de façon à obtenir diverses concentrations gaz traceur/air. L'équation suivante est utilisée pour calculer la concentration de gaz étalon :

$$C_X = \frac{(P_X)(K_X)}{F} \qquad (1)$$

où,

- C_X est la concentraion du constituant x exprimée en ppm,
- P_X est la vitesse d'émission totale du constituant x dans le ou les tubes, en ng/min,
- K_X est le facteur de conversion unitaire pour le constituant X qui convertit les nanogrammes par minute en nanolitres par minute, dans les conditions de fonctionnement. Une valeur type de K_X est égale à 24,45/(poids/mol. de X) pour une pression atmosphérique normalisée à 25°C,
- F est le taux de dilution en millimètres par minute à 25°C, à la pression atmosphérique normale.

Le débit d'air F est vérifié à l'aide d'un débitmètre à bulles.

FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION MÉCANIQUE

Fonctionnement du système de ventilation et méthodes de commande

L'installation CVCA de l'immeuble est conçue pour introduire dans l'immeuble une quantité contrôlée d'air extérieur calculée de façon à répondre aux besoins des occupants en air neuf et à réduire les frais d'énergie associés au chauffage et au refroidissement de l'immeuble. Durant les périodes de chauffage ou de refroidissement de l'immeuble, l'apport d'air extérieur est maintenu au minimum afin de diminuer les charges de conditionnement d'air de l'immeuble. Par temps doux, on rafraîchit souvent l'air de l'immeuble en prélevant de l'air extérieur. La quantité d'air extérieur est généralement déterminée par un système de commande automatique qui compare les

conditions de l'air repris ou extrait (c'est-à-dire soit la température ou l'humidité ou les deux) à celles de l'air extérieur ou aux conditions d'ambiance souhaitées.

Méthodes d'essais recommandées

Il est à noter qu'il existe un nombre infini de combinaisons air extérieur/air repris. La disponibilité des ressources et l'échelonnement des essais limiteront toutefois le nombre des essais réalisables. Par conséquent, l'ordre de priorité des essais devrait être le suivant.

1) Système de ventilation fonctionnant avec un apport minimal d'air extérieur. En règle générale, cela devrait correspondre au mode hiverou été.
2) Système de ventilation fonctionnant avec un apport maximal d'air extérieur. Cette condition équivaudrait en général au mode printemps ou automne.
3) Si les modes hiver/été ou printemps/automne sont différents, il faudra également vérifier l'efficacité du système de ventilation dans ces différentes conditions.
4) Système de ventilation fonctionnant selon tout autre mode identifié par l'ingénieur de l'immeuble comme mode courant. Avant de procéder à ces essais, il y aurait lieu d'arbitrer la valeur des données que fourniraient ces essais additionnels et les contraintes dues aux ressources disponibles et à l'échelonnement des essais.

CARACTÉRISTIQUES D'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DE L'IMMEUBLE

Les caractéristiques d'étanchéité à l'air de l'immeuble sont établies à partir d'essais d'étanchéité à l'air exécutés séparément. Ces caractéristiques sont représentées par deux coefficients, C et n, qui permettent le calcul du débit d'air au travers de l'enveloppe à une pression différentielle donnée. Le document D36 intitulé "Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air", décrit en détail la technique de mesure de l'étanchéité à l'air des grands immeubles et les moyens pour déterminer ces coefficients empiriques.

CONTRÔLE DES PRESSIONS

Pour déterminer la composante infiltration dans le taux global de renouvellement d'air, il est nécessaire d'établir le profil des pressions de part et d'autres de l'enveloppe de l'immeuble. Les différences de pressions moyennes à travers l'enveloppe sont mesurées pendant la même période d'essai que l'échantillonnage du gaz traceur. Pour connaître l'équipement et les méthodes requis pour le tracé du profil de pressions, se reporter au document D36 – Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air ou à la méthode proposée à l'article 5.4 de l'annexe.

DIFFUSION DU GAZ TRACEUR

L'objectif de la diffusion est de réaliser une concentration initiale uniforme de gaz traceur à travers tout l'immeuble. On approchera de cet idéal en diffusant le gaz traceur à partir du plus grand nombre de points possible. Le nombre de points de diffusion sera avant tout limité par le personnel disponible. Il est essentiel toutefois de prévoir au

moins un point de diffusion au centre de chaque volume fermé de l'immeuble. Dans les aires comportant plusieurs petits bureaux, cela ne sera pas possible; mais si toutes les portes de ces bureaux sont laissées ouvertes,une diffusion à partir des corridors où des aires communes centrales pourrait suffire.

Le gaz traceur est diffusé comme suit.

- Chaque sac de gaz est rempli de gaz traceur à l'aide d'un tube en plastique de petite longueur reliant la valve de remplissage au régulateur de pression du réservoir de gaz.
- Les sacs sont ensuite transportés sur les sites de diffusion pré–sélectionnés.
- Les sacs sont ouverts simultanément sur tous les sites (c'est–à–dire àune ou deux minutes près. La synchronisation se fait par chronomètre ou par walkie–talkie.)
- L'installation CVCA de l'immeuble est mise en marche à plein régime (mais sans air d'appoint ou évacuation) pour au moins 15 minutes puis mis hors service. Elle doit fonctionner suffisamment longtemps pour créer au moins une recirculation complète de l'air. On peut évaluer le temps nécessaire en divisant le volume l'immeuble par la puissance des ventilateurs de recirculation.
- Une période de mélange d'environ 30 minutes est prévue avant la prise d'échantillons.
- L'installation CVCA de l'immeuble est réglée en fonction d'un des modes de fonctionnement mis à l'essai.
- Les portes des bureaux qui sont normalement fermées, sont fermées.
- L'échantillonnage peut commencer.

ÉCHANTILLONNAGE

Même si la concentration initiale de gaz traceur est uniforme dans tout l'immeuble, la dissipation ne se fera pas uniformément. Par exemple, par temps froid le gaz se dissipera plus rapidement sur les étages inférieurs en raison des infiltrations d'air dues à l'effet de tirage et sa concentration pourra même augmenter dans les étages supérieurs puisque l'air des étages inférieurs monte. Par conséquent, la concentration en unpoint donné ne se situera pas sur la courbe linéaire logarithmique de dissipation qui sert de fondement aux analyses de dissipation des gaz traceurs. En revanche, la concentration moyenne totale de l'immeuble devrait correspondre à cette courbe.

Ainsi, l'objectif du prélèvement d'échantillons d'air pour la mesure de la concentration de gaz traceur consiste à recueillir assez de données pour déterminer la concentration moyenne totale de gaz traceur dans l'immeuble à un moment quelconque. On atteindra mieux cet objectif si les conditions suivantes sont réalisées.

- Les échantillons sont prélevés simultanément en de nombreux points de l'immeuble.
- La concentration de gaz traceur à chaque site d'échantillonnage est représentative de la concentration d'une portion du volume de l'immeuble identifiée comme "volume d'échantillonnage".
- La somme des volumes d'échantillonnage égale le volume total de l'immeuble.

- Dans les aires constituées d'un grand nombre de bureaux individuels, chacun étant des volumes fermés, il sera difficile d'échantillonner chacun des bureaux. Dans un tel cas, on devrait choisir certains bureaux considérés comme représentatif des autres. En faisant ce choix, il est important de se rappeler que les taux de renouvellement d'air dans les bureaux périphériques seront différents de ceux enregistrés dans les bureaux intérieurs. La concentration dans les bureaux choisis doit donc être représentative de la concentration dansles autres bureaux similaires.

Par conséquent, il est important de choisir soigneusement les sites d'échantillonnage en tenant compte de ces critères et des contraintes duesaux séparations internes et aux principaux mouvements de circulation d'aireventuels.

L'installation CVCA est mise en marche selon un mode de fonctionnement donné, puis on prélève sur tous les sites au moins cinq échantillons étalés sur une période d'au moins une heure. L'échantillonnage est synchronisé (par chronomètre) afin que chaque jeu d'échantillons soit prélevé simultanément à une ou deux minutes près.

Avant que l'essai commence, chaque emplacement d'échantillonnage doit être 3 pourvu d'un nombre suffisant d'éprouvettes sous vide de 10 cm (vacutainers) pour la période d'échantillonnage ainsi que de seringues de 3 20 cm B–D pourvues d'une aiguille

Les étapes du prélèvement des échantillons sont les suivantes.

1. Rincez la seringue deux fois en retirant le piston de 0 à 20 cm et repoussez ensuite le piston à 0. Le piston doit être déplacé lentement pour permettre à l'air d'entrer et de sortir de la seringue.
2. Pour recueillir un échantillon d'air, retirez lentement le piston de la seringue jusqu'à la marque de 20 cm. Attendre que le piston ne soit plus aspiré par le vide vers l'intérieur de la seringue.
3. Insérez l'aiguille de la seringue dans le bouchon de caoutchouc de l'éprouvette. Le piston doit être aspiré par le vide jusqu'après la marque de 10 cm , sinon, il faut considérer que l'éprouvette est défectueuse. Quand le piston arrête, le pousser lentement jusqu'à la marque du 0 et l'y maintenir pendant environ 15 secondes.
4. L'échantillon est étiqueté de façon lisible et rangé pour analyse.

ANALYSE DE L'ÉCHANTILLON

On dose le gaz traceur dans les échantillons d'air à l'aide d'un chromatographe à gaz. On trouvera à la figure 3.3.1 un exemple de chromatogramme. L'analyse peut être effectuée soit sur place, c.–à–d. dans l'immeuble testé, ou les échantillons peuvent être emballés avec soinet envoyés par la poste ordinaire jusqu'à un laboratoire central. Il est recommandé de ne pas installer le CG dans les zones où les gaz traceurs sont diffusés.

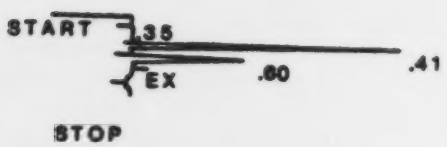
Les échantillons d'air sont analysés de la même façon et dans les mêmes conditions d'opération que les étalons. La concentration de gaz traceur dans un échantillon est calculée par l'équation suivante :

$$\text{Concentration de l'échantillon} = \frac{\text{Concentration normalisée}}{\text{hauteur du pic normalisé}} \times \text{hauteur du pic de l'échantillon}$$

Ces calculs supposent que le volume de l'échantillon à injecter est le même que celui normalisé.

```
LIST: LIST
PEAK CAPACITY: 1157

ZERO      =  10, 0.0
ATT 2↑    =  0
CHT SP    =  1.0
PK WD     =  0.04
THRSH     =  0
AR REJ    =  0
```




```
RUN # 345                    APR/25/88          12:57:52

ESTD
  RT                AREA TYPE CAL#              AMOUNT
 0.60               5454   BB   1R              62.105

TOTAL AREA=          5454
MUL FACTOR=     1.0000E+00
```

Figure 3.3.1 : Exemple de chromatogramme

3.3.4 Évaluation

Une fois que l'on connaît les concentrations en gaz traceur de tous les échantillons prélevés, il suffit de suivre les six étapes suivantes pour analyser les résultats.

- Calcul des concentrations moyennes totales du gaz traceur dans l'immeuble, à partir de chaque jeu d'échantillons. On entend par "jeu" tous les échantillons prélevés au même moment.

- Calcul d'un taux global de renouvellement d'air pour l'immeuble, établi à partir des concentrations moyennes totales pour chaque mode de fonctionnement du système de ventilation de l'immeuble.
- Analyse des données de pressions permettant de trouver le plan de pression nulle pour chaque mode de fonctionnement.
- Calcul de la pression différentielle moyenne de part et d'autre de l'enveloppe sous le plan de pression nulle seulement.
- Calcul du débit moyen de fuite d'air à travers l'enveloppe.
- Soustraction de la composante infiltration de la vitesse global de renouvellement d'air de l'immeuble afin d'obtenir la quantité d'air neuf fourni par le système de ventilation seul.

CONCENTRATION MOYENNE TOTALE DE GAZ TRACEUR DANS L'IMMEUBLE

La concentration moyenne totale de gaz traceur dans l'immeuble consiste simplement en la moyenne des concentrations de tous les échantillons prélevés à ce moment–là pondérée en fonction des "volumes d'échantillonnage" des sites d'échantillonnage.

Le formulaire d'"Analyse des résultats" présenté à l'article 5.8 de l'annexe offre une méthode pratique pour l'organisation des données nécessaires à ces calculs. On peut facilement transférer ces données sur le chiffrier d'un micro–ordinateur, ce qui sera profitable puisque ces opérations devront être répétées plusieurs fois.

TAUX GLOBAL DE RENOUVELLEMENT D'AIR DE L'IMMEUBLE

Le taux de renouvellement d'air est établi à partir des concentrations moyennes de gaz traceur dans l'immeuble calculées par la formule suivante :

$$C_t = C_o \times e^{-N.t} \qquad (2)$$

où C_o = concentration moyenne de gaz traceur dans l'immeuble au début de l'essai

C_t = concentration moyenne de gaz traceur dans l'immeuble au temps t (ppm)

t = temps

$N = \frac{Q}{V}$ = taux de renouvellement d'air (volume de l'immeuble par unité de temps)

Donc :

$$\ln (C_t) = \ln (C_o) - N \cdot t \qquad (3)$$

Selon l'équation (3), le logarithme naturel de la concentration (In C_t) en fonction du temps est une droite. La pente de la droite sera dictée par –Q/V qui représente le renouvellement d'air global de l'immeuble. En lamultipliant par le volume de l'immeuble (V), on obtient le taux de renouvellement volumique global (Q_T).

Les jeux de concentrations et de temps pour chaque mode de fonctionnement du système de ventilation doivent être traités afin de donner un jeu de taux de renouvellement d'air.

DÉTERMINATION DU PLAN DE PRESSION NULLE

Pour tout mode donné de fonctionnement du système ventilation de l'immeuble, il existe à chaque étage une différence entre les pressions intérieure et extérieure. Ces différences devraient varier linéairement de bas en haut de l'immeuble plus ou moins selon le modèle illustré à la figure 3.3.2.

À un point donné, la ligne tracée à la figure 3.3.2 traverse l'enveloppe de l'immeuble. Pour un immeuble type où les fuites sont réparties à peu près uniformément à travers l'enveloppe, la ligne traversera celle–ci à environ mi–hauteur de l'immeuble. Ce point de traversée est appelé "plan de pression nulle". Dans certains cas, la ligne peut même traverser l'enveloppe en un point situé bien au–dessus du sommet de l'immeuble. On dit alors que celui–ci est complètement dépressurisé. Cette situation peut provenir du mode de ventilation qui coupe entièrement toute arrivée d'air neuf et évacue tout l'air vicié : il n'y a donc aucune recirculation. Ce mode dépend uniquement des infiltrations d'air incontrôlées pour l'apport d'air neuf. Un système entièrement équilibré (où la quantité d'air extérieur fourni par le système de ventilation est égale à la quantité d'air vicié évacué) aura un plan de pression nulle placé à environ mi–hauteur de l'immeuble. Si le plan de pression nulle se situe sous le premier niveau, l'immeuble est alors essentiellement pressurisé. Un mode de ventilation qui recirculerait tout l'air repris (aucune évacuation d'air vers l'extérieur) et le mélangerait à de l'air neuf aurait pour conséquence de pressuriser entièrement l'immeuble.

À chaque étage situé sous le plan de pression nulle, l'air extérieur s'infiltre par les ouvertures incontrôlées de l'enveloppe. Cet air combiné à l'air neuf prélevé par le système de ventilation constitue un apport net d'air neuf à l'immeuble ou l'étage. Aux étages situés au–dessus du plan de pression nulle, il n'y a aucune infiltration d'air dans l'immeuble et l'air neuf est donc fourni uniquement par le système decirculation de l'immeuble. Quant à l'air vicié, soit qu'il s'échappe par l'enveloppe ou qu'il est évacué par le système de reprise du système de ventilation de l'immeuble.

DÉTERMINATION DE LA PRESSION MOYENNE SOUS LE PLAN DE PRESSION NULLE

La figure 3.3.2 illustre un exemple d'un immeuble dont le profil de pressions est linéaire. On obtient la pression moyenne en intégrant le profil de pressions sous le plan de pression nulle et en divisant par la superficie de l'enveloppe sous le plan de pression nulle. Si la distribution est linéaire, l'intégration se limite au calcul de la hauteur moyenne du triangle dont l'axe des x représente la distance du rez–de–chaussée au niveau du plan de pression nulle et l'axe des y est la différence de pressions de part et d'autre de l'enveloppe. Par conséquent, le différentiel de pression moyen pour une distribution linéaire des pressions sous le plan de pression nulle est calculé par l'équation :

$$P_{avg} = \frac{(P_o - P_i)_g}{2} \qquad (4)$$

où

$(P_o - P_i)_g$ est le différentiel de pression au rez–de–chaussée

À cause des vents, cette distribution peut devenir non linéaire. La présence de puits d'ascenseurs et le degré d'étanchéité entre les étages peuvent également faire en sorte que la distribution de pressions cesse d'être linéaire. La représentation du profil des pressions peut être améliorée en augmentant le nombre des points de mesure sur l'enveloppe. La décision de procéder par approximation linéaire pour déterminer la différence de pressions moyenne doit prendre en compte le degré d'écart du profil de pression par rapport au profil linéaire. Il pourra être nécessaire de réaliser une intégration complète pour évaluer la différencede pressions moyenne de part et d'autre de l'enveloppe. De toute évidence, on ne pourra pas mesurer simultanément un nombre de points de plus grand que le nombre d'instruments de mesure de pression appropriés dont on dispose.

ÉVALUATION DE LA COMPOSANTE INFILTRATION

On peut évaluer le débit d'air traversant l'enveloppe à partir d'un différentiel de pression donné en utilisant la formule empirique suivante :

$$Q_i = C \cdot A \cdot \Delta P^n \qquad (5)$$

où

Q_i est le taux d'infiltration d'air neuf à travers les ouvertures incontrôlées de l'enveloppe de l'immeuble

C est un coefficient de débit tiré des données d'étanchéité de l'air.

A est la superficie de l'enveloppe sous le plan de pression nulle.

ΔP est le différentiel de pression moyen de part et d'autre de l'enveloppe sous le plan de pression nulle.

n est un exposant de débit dérivé des données d'étanchéité à l'air.

Ainsi, à partir des caractéristiques d'étanchéité à l'air de l'enveloppe (C et n) tirées des données d'étanchéité à l'air, on peut évaluer le débit (Q_i) à travers une portion donnée de l'enveloppe (A) si l'on connaît le différentiel de pression (ΔP) à travers l'enveloppe. La zone sous le plande pression nulle représente la zone où l'air extérieur s'infiltre dans l'immeuble. La superficie extérieure de cette zone et la pression moyenne établie d'après l'équation 4 donne le débit d'infiltration d'air.

Tout au long de cette analyse, on a supposé qu'à moins de posséder des informations plus précises, les infiltrations étaient uniformément réparties à travers l'enveloppe et que le coefficient de débit (C) pouvaitêtre pondéré en fonction de la fraction de l'enveloppe située sous le plande pression nulle. On peut obtenir des données plus précises en déterminant l'étanchéité de l'enveloppe à chaque étage.

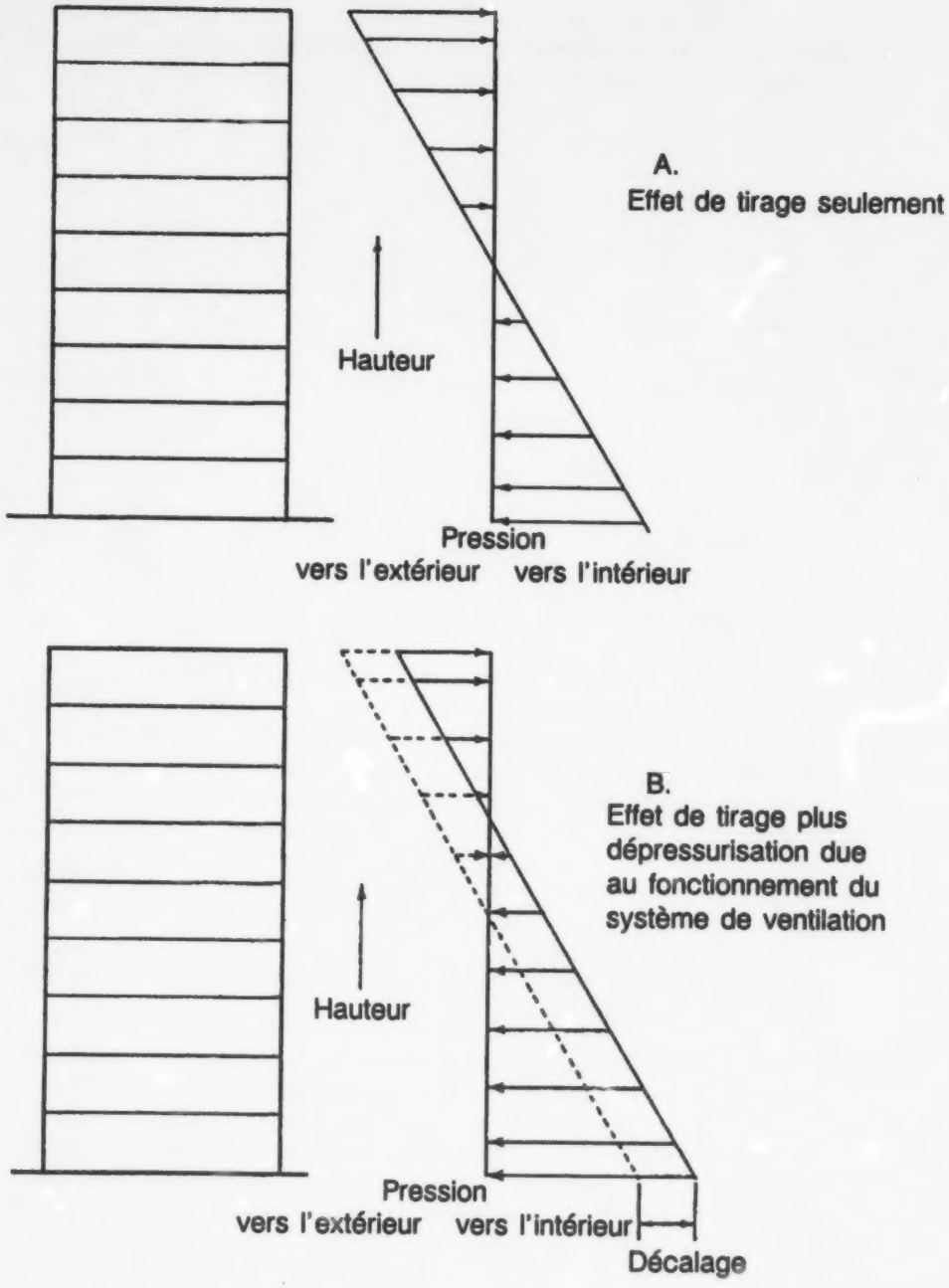


Figure 3.3.2 : Profils des pressions sur un grand immeuble par temps calme et froid

DÉTERMINATION DE LA QUANTITÉ D'AIR EXTÉRIEUR FOURNI PAR LE SYSTÈME DE VENTILATION

On obtient le débit d'air extérieur fourni par le système de ventilation (Q_{OA}) en déduisant de la vitesse global de renouvellement d'air de l'immeuble (Q_T), le taux d'infiltration d'air neuf dans l'immeuble (Q_i). Ce qui est exprimé par :

$$Q_{OA} = Q_T - Q_i \qquad (6)$$

Comparaison avec le taux d'échange d'air extérieur

La quantité d'air extérieur requise dépend du nombre d'occupants dans l'immeuble et de leurs niveaux d'activité. Pour les activités sédentaires(situation type dans les immeubles à bureaux) la norme ASHRAE 62–1981R stipule que le taux de ventilation minimal requis pour ce type d'activité doit être de 36 m^3/h par personne. Par conséquent, la quantité d'air (Q_{OA}) requise pour un immeuble est donnée par la formule :

$$Q_{OA} = \text{nombre d'occupants X 36 } m^3/h \qquad (7)$$

Par la suite, on peut comparer le taux actuel d'échange d'air extérieur del'immeuble (équation 6) avec le taux d'échange d'air extérieur requis (équation 7).

3.3.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Comme les installations mécaniques des immeubles fonctionnent selon des conditions d'occupation types, les essais suivants peuvent être réalisés en même temps que les essais par gaz traceur : qualité d'air, confort thermique, monitoring de l'installation mécanique, essai de l'installationélectrique, acoustique (niveaux sonores ambiants dans les aires de travail), inspection thermographique de l'enveloppe, analyse de l'utilisation fonctionnelle et mesure de l'éclairage dans l'immeuble.

Étant donné que plusieurs de ces essais devront être réalisés sous différents modes de fonctionnement du système de circulation de l'immeuble, il faudra faire preuve de jugement pour déterminer quels seront les essais qui pourront être réalisés au même moment afin d'éviter que le mode de fonctionnement du système de ventilation soit modifié spécifiquement pour un seul essai.

Comme il faudra changer le fonctionnement des installations mécaniques, il sera nécessaire de programmer les essais en dehors des heures normales d'occupation. Une première équipe chargée de la qualité de l'air sera requise pour l'analyse des échantillons d'air, une deuxième équipe responsable des installations mécaniques devra s'occuper de la préparationdes installations mécaniques et de leur fonctionnement durant les essais et d'autres membres de soutien devront se charger de diffuser le gaz traceur, de prélever les échantillons et de mesurer les pressions.

Il faudra environ 10 personnes pour réaliser ces essais. La marche à suivre de ces essais est très longue et les activités qui peuvent être automatisées sont peu nombreuses.

3.3.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Les informations concernant la diffusion et l'échantillonnage sont énumérées sur les feuilles de données présentées à l'article 5.8 de l'annexe. Ces feuilles de données et tous les documents de travail associés aux analyses doivent être annexés aux dossiers de projet.

4. RÉFÉRENCES

ASHRAE Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Standard 62–1981R, The American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., Atlanta (1981)

Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air, D36, Série de rapports sur l'évaluation du rendement des immeubles, Travaux publics Canada, mars 1988.

Évaluation des polluants, D01, Série de rapports sur l'évaluation du rendement des immeubles. Travaux publics Canada, mars 1988.

Grimsrud, D., **Tracer Gas Measurement of Ventilation in Occupied Office Spaces**, Ann. Am. Conf. Gov. Ind. Hyg., Vol 10, 1984.

Migration de la pollution, D02, Série de rapports sur l'évaluation du rendement des immeubles, Travaux publics Canada, mars 1988.

Operating Manual, AID Model 511 Portable Gas Chromatograph. Analytical Instruments Developments, Ltd.

Operating Manual, Dynacalibrator Model 340. Vici Metronics Ltd.

Operating Manual, SC 100 Permeation Oven. CEA Instruments.

Operating Manual, 3390 Recording Integrator, Hewlett–Packard Ltd.

Tamura G. and Evans, R., **Evaluation of Evacuated Glass Tubes For Sampling of SF_6/Air Mixture For Air Exchange Measurement**. ASHRAE Journal, octobre 1983.

Total Building Performance Study of the Harry Hays Building. Calgary. Sciences de l'architecture et des bâtiments, Travaux publics Canada, 1984.

Total Building Performance Study of the Winnipeg Taxation Data Centre. Sciences de l'architecture et des bâtiments, Travaux publics Canada, 1984.

5. ANNEXES

5.1 TERMES ET UNITÉS DE MESURE NORMALISÉS

Zone
Un volume défini d'un espace occupé.

Taux de renouvellement d'air
Débit nécessaire pour remplacer l'air vicié d'une zone donnée par de l'air extérieur. Cet apport d'air neuf proviendra à la fois du système de ventilation et des infiltrations d'air par les ouvertures incontrôlées de l'enveloppe.

Taux d'infiltration d'air
Taux suivant lequel l'air extérieur pénètre dans une zone par des ouvertures incontrôlées.

Système de ventilation
Ensemble de ventilateurs de soufflage et de reprise avec conduits et plenums, conçu pour assurer la circulation de l'air dans un immeuble. Le système de ventilation doit pouvoir extraire l'air vicié d'une zone et le remplacer par un air d'appoint provenant de grilles de soufflage. Cet air d'appoint est un mélange d'air recirculé et d'air extérieur.

Taux de ventilation
Taux suivant lequel le système de circulation d'un bâtiment alimente en air une zone. Cet air peut être un mélange d'air vicié (dans le cas d'air recirculé) et d'air extérieur prélevé par les prises d'air neuf.

Air extérieur
Air pénétrant dans un bâtiment et ne contenant aucun polluant provenant de l'intérieur. L'air extérieur peut entrer dans un bâtiment en s'infiltrant par les ouvertures incontrôlées ou être prélevé par le système de ventilation du bâtiment et ses conduits d'amenée d'air neuf.

Air vicié
Air des zones adjacentes qui entre dans une zone en transportant avec lui les polluants des autres zones. L'air vicié peut pénétrer dans une zone soit par diffusion et par infiltration à partir d'autres zones occupées ou sous forme diluée par les bouches de soufflage du système de ventilation (air recirculé).

5.2 AUTORITÉS COMPÉTENTES ET RÈGLEMENTS

Norme ASHRAE 62–1981R sur la ventilation

Les normes ASHRAE actuelles considèrent un taux de 0.25 % de CO_2 comme une limite acceptable pour les espaces occupés. La norme recommande un renouvellement d'air d'au moins 36.0 m^3/h par personne pour un niveau d'activité sédentaire afin de maintenir le niveau de CO_2 dans un espace occupé à 0.25 % ou moins dans des conditions stables.

5.3 LES GAZ TRACEURS ET LEURS PROPRIÉTÉS

GAZ TRACEUR	FORMULE CHIMIQUE	POIDS MOLÉCULAIRE	VALEUR SEUIL LIMITE (TLV) (ppm)	SEUIL DE MINIMUM DÉTECTION ESTIMÉ (ppm)	MASSE VOLUMIQUE (ng/ml à 20 °C et 101.3 Pa)
Hexafluorure de soufre	SF_6	146	1 000	0,0001	0,61
Octafluorocyclo butane (fréon C-318)	C_4F_8	200	–	0,05	0,93
Hexafluoroéthane (fréon 116)	C_2F_6	138	–	0,05	0,57
Dichloro difluorométhane (fréon 12)	$CC1_2F_2$	120.9	1 000	0,05	0,50
Bromochloro difluorométhane (Halon 1211)	$CBrC1F_2$	165.4	(1)	0,05	0,69
Bromotrifluoro méthane (Halon 1301)	$CBrF_3$	149	(1)	0,05	0,62

(1) Concentration mortelle appropriée (CMA) est plus de 300,000 ppm.

5.4 CONTRÔLE DES PRESSIONS

La technique de contrôle automatisé des pressions décrite ci-dessous est toute récente. Elle a été éprouvée en laboratoire, mais non sur site réel. Pour connaître une méthode de contrôle manuel des pressions ayant été testée sur site réel, se reporter au document D36 – Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air.

Cette technique exige des équipements et des méthodes spécifiques, mais on peut utiliser des logiciels et des méthodes similaires avec d'autres équipements. Par exemple, Campbell Scientific commercialise des logiciels et des cartes de communication pour les ordinateurs AT et les clones d'AT qui ne nécessitent par l'utilisation de l'interface C-20 et des logiciels "Crosstalk" et "Pressure" mentionnés dans les instructions d'analyse de données.

1. ÉQUIPEMENT REQUIS
1.1 (24) transducteurs de pression Dwyer, modèle 601-1°
1.2 (1) alimentation, lecteur numérique, de Baker Instruments
1.3 (1) alimentation 24 Volts, stabilisée
1.4 500 mètres de câble blindé, 4 paires torsadées de fils n° 18
1.5 (24) résistances de 240 Ohms + 1 %
1.6 60 mètres de tube Tygon en plastique de 5 mm de diamètre intérieur
1.7 un niveau
1.8 (12) connecteurs T en plastique, pour tubes, de marque Tygon
1.9 petite bouteille d'air sous pression, avec robinet d'étranglement
1.10 robinet à pointeau

1.11 manomètre, précision : 0.01 po C.E.
1.12 (1) enregistreur de données CR7 de Campbell Scientific
1.13 (2) lecteur de cassettes RQ 8300 de Panasonic
1.14 (¹) interface pour lecteur de cassettes C20 de Campbell Scientific
1.15 (1) câble RS232
1.16 (1) ordinateur AT d'IBM ou ordinateur personnel compatible avec lecteur de disquettes, disque dur, mémoire de 512 K–octets, coprocesseur arithmétique, carte ega, moniteur ega, MS/DOS
1.17 tableur LOTUS 1–2–3
1.18 ohmmètre
1.19 logiciel d'analyse

2. MONTAGE DE L'ÉQUIPEMENT

2.1 Inscrivez le nom de l'immeuble et la date au haut du tableau de montage–Pressions "PRESSURE SET–UP CHART". Voir exemple figure 5.4.

2.2 Inscrivez l'orientation de chaque face du bâtiment en haut, au milieu et en bas où seront prises les mesures de pression. Couper le bout du tube tygon proprement et à l'équerre. Si possible, ouvrir les fenêtres de contrôle de la fumée et prolonger le tube tygon jusqu'à l'extérieur de l'immeuble. Fixer les robinets de pression extérieurs au mur extérieur de façon à ce que le bout coupé du tube pointe vers le bas. Assurez–vous que le robinet n'est pas directement soumis à des courants d'air provenant de l'intérieur de l'immeuble ou d'une bouche d'extraction à l'extérieur. Essayez de fermer la fenêtre de contrôle de la fumée sans pincer le tube. Il est possible que vous ne puissiez fermer complètement la fenêtre sans pincer le tube. Dans ce cas, placez une cale de bois près du tube et maintenez la fenêtre aussi fermée que possible en vous servant de ruban à conduit d'air. Les portes ou les trappes de sortie en haut et en bas de l'immeuble peuvent servir à passer le tube à travers l'enceinte, mais dans tous les cas, assurez–vous que les robinets de pression sont bien fixés, les bouts coupés tournés vers le bas et bien alignés horizontalement sur chaque face.

2.3 Fixez un connecteur T à l'autre extrémité du tube tygon.

2.4 À une sortie du T, fixez le connecteur identifié "high" situé sur le côté d'un transducteur 601–1. Inscrivez l'orientation, l'étage et le numéro de TP du transducteur dans les colonnes correspondantes du tableau "SET–UP CHART" et inscrivez un "+" dans la colonne "Pressure" (pression).

2.5 À l'autre sortie du T, fixer le connecteur identifié "low" situé sur le côté d'un second transducteur 601–1. Inscrivez l'orientation, l'étage et le numéro de TP du transducteur dans les colonnes correspondantes du tableau SET–UP CHART et inscrivez un '–' dans la colonne "Pressure".
(Note : les signes + ou – dans la colonne "Pressure" correspondent aux connexions "high" et "low" sur le côté du transducteur).

2.6 Mettez les deux transducteurs au niveau.

2.7 Étalonnage. Connectez le câble de l'alimentation, lecteur numérique Baker Instruments au transducteur et mettez–le en marche. Détachez le tube tygon au niveau du T et laissez–le ouvert à l'air libre. Faites la mise à zéro sur l'avant du transducteur jusqu'à ce que le lecteur numérique indique 00 %. Connectez la

partie libre du tube tygon (côté transducteur) au dispositif d'étalonnage. Régler le robinet à pointeau de l'instrument d'étalonnage jusqu'à ce que la pression indique 0.4 po C.E. Ajustez maintenant le "span" sur l'avant du transducteur jusqu'à ce que le lecteur numérique indique 80 %. Déconnectez temporairement le tube tygon et vérifiez que le lecteur revienne à 00. Si ce n'est pas le cas, refaites la mise à zéro et répétez l'opération jusqu'à ce que les lectures de 00 % et de 80 % correspondent respectivement à une pression nulle et à une pression de 0.4 po C.E. Déconnectez le tube tygon de l'instrument d'étalonnage et reconnectez-le au T. Débranchez le câble de l'alimentation, lecteur numérique, Baker Instruments du transducteur Répétez l'opération.

2.8 Branchez le connecteur 7 broches à chacun des transducteurs et branchez l'autre extrémité du bornier. Connectez les fils un et deux aux prises 24 VDC et à une alimentation 24 Volts DC. Brancher les deux fils de sortie de chaque transducteur aux raccords du câble de signal.

2.9 Installer l'enregistreur de données CR7 dans un endroit central. Connecter les deux paires de fils de commande du premier transducteur (mentionné à la section 2.7) aux connecteurs "high" et "low" rangée 1, position 1. Inscrivez le numéro de canal (1-01) sur le "SET-UP CHART". À l'aide de l'ohmmètre, mesurez la résistance réelle d'une résistance de 240 Ohms. Inscrivez ensuite cette valeur sur le "SET-UP CHART" et poser la résistance aux bornes des connecteurs "high" et "low", rangée 1, position 1, en parallèle des fils de commande.

Répétez le procédé pour le second transducteur (c'est-à-dire le même branchement que sur le transducteur n° 1 mais effectuez ce branchement aux connecteurs "high" et "low" rangée 1, position 2. De nouveau, inscrivez la position 1-02 et la nouvelle mesure de résistance sur le "SET-UP CHART" puis installez la résistance.

2.10 Répétez les opérations 2.2 à 2.8 pour chaque emplacement de mesure de pression. (Notez cependant que lorsque les fils de transmission du 15e transducteur sont branchés au CR7, ils devraient être raccordés à la rangée 3, position 1 (3-01) plutôt qu'à la rangée 2 étant donné que celle-ci comporte un canal de compensation RTD et devrait être réservée pour les mesures de thermocouple.

2.11 Lorsque tous les branchements ont été effectués, programmez le CR7 afin qu'il échantillonne les 24 canaux de pression dans les intervalles de temps requis par ce type d'essai. Raccordez le lecteur de cassettes. (Notez que les données devraient etre enregistrées dans le mode "Decode") et faites démarrer le programme.

2.12 Laissez fonctionner le système jusqu'à ce que les essais soient terminés ou qu'une cassette soit pleine.

3.0 ANALYSE DES DONNÉES

3.1 Connectez le lecteur de cassettes à l'interface cassette C-20. Connectez une extrémité du câble RS232 au PORT "A" du C-20 et l'autre extrémité à l'IBM.

3.2 Assurez-vous que les interrupteurs à positions multiples à l'avant du C-20 sont positionnés de la façon suivante : 11110110.

3.3 Effectuez la mise en marche à l'arrière du C-20.

3.4 Allumez l'ordinateur.
3.5 À l'affichage du "C>" tapez "Crosstalk".
3.6 Lorsque Crosstalk affiche "Command:", tapez "SPEED 1920".
3.7 Lorsque Crosstalk affiche "Command:", tapez "GO LOCAL".
3.8 Lorsque Crosstalk affiche "Command:", taper CA XXXXXXXX.YYY" <Cr>, sachant que XXXXXXXX est le nom de fichier du DOS dans lequel les données seront stockées et que YYY est le délimiteur du fichier DOS.
3.9 Lorsque Crosstalk affiche "Command:", tapez <Cr>.
3.10 Mettez le lecteur de cassettes en marche.
3.11 Les données commenceront à apparaître sur l'écran de l'IBM.
3.12 Lorsque les données cessent de défiler à l'écran et que le voyant vert s'éteint sur le C–20, arrêtez le lecteur de cassettes.
3.13 Appuyez sur la touche "ESC" de l'IBM.
3.14 Lorsque Crosstalk affiche "Command:", tapez "CA OFF".
3.15 Lorsque Crosstalk affiche "Command:", tapez "QUIT".
3.16 La pression est maintenant stockée dans le DOSFILE XXXXXXXX.YYY.
3.17 À l'affichage de "C>", tapez "PRESSURE".
3.18 À l'affichage de "INPUT FILENAME :", tapez "XXXXXXXX.YYY".
3.19 À l'affichage de "TOTAL NUMBER OF CHANNELS RECORDED", tapez un nombre de 1 à 24 qui représente le nombre d'entrées de transducteurs raccordées au lecteur de cassettes.
3.20 À l'affichage de "OUTPUT FILENAME", entrez un nom alphanumérique de 8 caractères mais sans délimiteur. Le nom suggéré devrait être le même que XXXXXXXX.
3.21 À l'affichage de "BUILDING NAME", entrez le nom de l'immeuble puis <Cr>.
3.22 À l'affichage de "TEST NAME", tapez le nom du test puis tapez <Cr>.
3.23 À la question "HOW MANY LOCATIONS IN THIS TEST", entrez un nombre de 1 à 12 pour l'utilisation de 2 transducteurs par emplacement ou un nombre de 1 à 24 pour l'utilisation de 1 transducteur par emplacement. À cette étape, on doit fournir des données spécifiques sur les transducteurs et les emplacements.
3.24 À la question "ARE THERE TWO TRANSDUCERS (+ AND –) AT THIS LOCATION", tapez Y pour oui ou N pour non, puis tapez <Cr>.
3.25 À la question "FLOOR NO", entrez le numéro d'étage précisé sur le "SET–UP CHART".
3.26 À la question "LOCATION", entrez l'orientation inscrite sur le SETUP CHART.
3.27 À la question "TRANSDUCER DPW NO", entrez le numéro de transducteur de TP inscrit sur le SET–UP CHART.
3.28 À la question "RESISTOR VALUE", entrez la valeur de la résistance inscrite sur le SET–UP CHART.
3.29 À la question "CHANNEL NO", entrez le numéro de canal mentionné sur le SET–UP CHART.
3.30 À la question "PRESSURE DIRECTION", entrez un "+" ou un "–" selon le SET–UP CHART.
3.31 À cette étape, le programme retournera à l'étape 3.24. Continuez à transcrire les données du SET–UP CHART étape par étape jusqu'à ce que tous les

emplacements aient été décrits après quoi le fichier de données sera traité et le MS/DOS affichera "C>".

3.32 Si vous désirez examiner les données à cette étape, tapez "LOTUS 123".

3.33 Enfoncez la touche "/".

3.34 Amenez le curseur sur "FILE".

3.35 Amenez le curseur sur "IMPORT".

3.36 Amenez le curseur sur "TEXT".

3.37 Déplacez le curseur pour choisir le nom du fichier sous la forme XXXXXXXX.PRN.

3.38 Les données sur les pressions apparaîtront à l'écran dans le format LOTUS 123. Vous pouvez utiliser toutes les fonctions de LOTUS pour manipuler, afficher ou imprimer les données sous la forme que vous désirez.

3.39 Pour sortir, enfoncez la touche "/".

3.40 Choisissez "QUIT".

3.41 Ne sauvegardez pas le fichier.

3.42 À l'affichage de "C>", éteignez l'ordinateur.

FIGURE 5.4
EXEMPLE D'UN TABLEAU DE MONTAGE–PRESSIONS

IMMEUBLE ÉTUDIÉ _____ DATE: _____

EMPLACEMENT		TRANSDUCTEUR NO TP (5 chiffres)	PRESSION (+ ou –)	CANAL NO R–POS	VALEUR DES RÉSISTANCES (OHMS)
ORIENTA –TION	ÉTAGE				
Sud	7	16744	+	1–01	243
Sud	7	16745	–	1–02	237
Ouest	7	16746	+	1–03	240
Ouest	7	16747	–	1–04	240
Nord	7	16828	+	1–05	241
Nord	7	16831	–	1–06	236
Est.	7	18863	+	1–07	238
Est.	7	18864	–	1–08	244
Sud	7	18866	+	1–09	241
Sud	7	18867	–	1–10	239
Ouest	7	18868	+	1–11	244
Ouest	7	18869	–	1–12	240
Nord	7	18870	+	1–13	241
Nord	7	18871	–	1–14	241
Est.	7	18872	+	1–15	243
Est.	7	18873	–	1–16	237

5.5 PROVENANCE DES MATÉRIELS

Chromatographe à gaz portatif Analytical Instruments Developments (AID), modele 511, à détecteur à capture d'électrons.	– Levitt–Safety Ltd.
Colonne chromatographique Chromacil 310, 80/100 mailles au pouce, 10 pi x 1/8 po.	– Chromatographic Specialties Ltd. Brockville, Ontario K6V 5W1
Gaz vecteur argon–méthane	– Matheson Gas Products
Intégrateur HP 3390	– Hewlett Packard Ltd.
Enregistreur graphique linéaire No 142	– Allied–Fisher Scientific
Gaz d'étalonnage	– Matheson Gas Products
Générateur d'étalons gazeux	– Applied Research Products (Dynacalibrator)
Four de perméation	– Aquatronix Inc. (SC 100)
Seringues jetables B–D	– Canlab
Èprouvettes Vacutainers	– Canlab

5.6 MISE EN MARCHE ET ÉTALONNAGE DU CHROMATOGRAPHE À GAZ AID MODÈLE 511

Voici une brève description du montage et de l'étalonnage du chromatographe à gaz AID, modèle 511, pourvu d'un intégrateur électronique Hewlett–Packard 3390.

5.6.1 Montage du chromatographe à gaz

- Pour effectuer l'essai suivant, utiliser une colonne d'acier inoxydable Chromacil 310 de 8 pi x 1/8 po dia.
- Brancher le CG au bloc d'alimentation rechargeable (bloc et CG hors circuit).
- Raccorder la canalisation de gaz vecteur à "Carrier Port", sur la partie supérieure du CG. Le gaz vecteur est un mélange de 5 % méthane dans de l'argon.
- Régler la pression de la bouteille (à l'aide d'un détendeur à deux étages) de façon à obtenir une pression de 80 lb/po^2. Le manomètre interne du CG devrait indiquer une pression supérieure à 60 lb/po^2.
- Ouvrir le robinet sur la partie supérieure du CG jusqu'à l'obtention d'une pression d'environ 30$\pm$ 1 lb/po^2. On doit obtenir un débit à l'entrée d'environ 37 cm^2/min.

Le débit de la colonne peut être vérifié à l'aide d'un débimètre à bulles relié à la sortie du détecteur.

- Mettre en position "ouvert" les commutateurs du bloc d'alimentation et du CG.
- Brancher l'intégrateur au CG.
- Laisser le système atteindre l'équilibre, de préférence pendant la nuit.

5.6.2 Vérification du signal du détecteur

Surveillance du signal de base

Le but de cette vérification est d'obtenir des informations sur les conditions d'installation de l'instrument, par exemple sur la pureté du gaz vecteur, sur les fuites éventuelles du système, la purge de la colonne et le bruit de fond électronique.

La surveillance de la ligne de base du détecteur est effectuée en réglant les paramètres de l'intégrateur, la plage de l'électromètre et l'atténuateur selon les indications de la figure 5.6.1. La ligne de base de la cellule est illustrée à la figure 5.6.2.

```
LIST:  LIST
PEAK CAPACITY:  1157

ZERO      =  10, 0.5
ATT 2↑    =  0
CHT SP    =  1.0
PK WD     =  0.04
THRSH     =  0
AR REJ    =  0
```

Figure 5.6.1 Paramètres de l'intégrateur (en mode courbe). (Plage de l'électromètre 1, atténuateur 64)

Figure 5.6.2 Exemple de signal de sortie de la cellule du détecteur.

Essai ampérométrique (courant réel)

Une fois le système équilibré, un essai ampérométrique (courant réel) indiquera l'état de propreté de la cellule du détecteur.

Suivre le mode opératoire décrit aux pages 6–10 du manuel d'instructions de l'appareil AID modèle 511. Régler le détecteur à la plage 102, l'atténuateur à 64 et l'intégrateur comme sur la figure 5.6.1.

La déflection du signal par rapport à la ligne de base indique le courant réel du détecteur en pourcentage par rapport à la valeur maximum de l'échelle. Toute perte de courant indique une perte de sensibilité. Un courant réel de moins de 10 % d'une valeur maximum de l'échelle indique que le détecteur doit être révisé (voir manuel).

Un courant réel d'environ 80 %, figure 5.6.3, indique que le système est propre et que sa réponse est excellente.

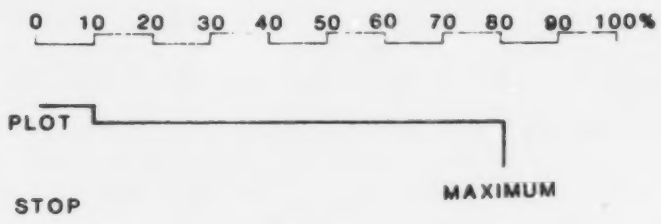


Figure 5.6.3 Essai ampérométrique (courant réel).

5.6.3 Étalonnage

Pour effectuer l'étalonnage de l'instrument, régler les paramètres de l'intégrateur conformément à la figure 5.6.4.

```
ZERO      =  10, 0.5
ATT 2↑    =  0
CHT SP    =  1.0
PK WD     =  0.04
THRSH     =  0
AR REJ    =  0
```

Figure 5.6.4 Paramètres de l'intégrateur.

Sauf pour ce qui est du réglage "zéro", tous les autres paramètres sont des valeurs par défaut et sont réglés automatiquement dès que l'intégrateur est mis sous tension. La plage de l'électromètre du CG est réglée à 1 et l'atténuateur, à 256. Ces paramètres fournissent le maximum d'information à partir du signal du détecteur. Des informations détaillées sur le fonctionnement de l'intégrateur HewlettPackard 3390 sont présentées dans le Quick Reference Guide ou dans l'Operation Reporting Integrator Manual plus détaillé.

Il est important de comprendre que la technique d'étalonnage sera déterminée par la méthode d'introduction de l'échantillon (injection) utilisée pour l'analyse (seringue ou robinet d'échantillonnage de gaz). La même technique d'injection peut être utilisée pour l'étallonnage et le dosage des échantillons.

Pour déterminer la valeur du facteur de réponse du traceur, le technicien peut mesurer soit la surface, soit la hauteur du pic. Comme on le voit dans les figures 5.6.5 et 5.6.6, une réponse linéaire est obtenue pour chaque mode.

Étalonnage avec seringue (hexafluorure de soufre ou fréon 12)

On peut utiliser des injections d'étalons à des concentrations différentes pour déterminer la plage linéaire du DCE (détecteur à capture d'électrons). Si une grande plage linéaire est nécessaire, un volume d'injection de 10 µl et recommandé. On trouvera des exemples de cette technique d'étalonnage aux figures suivantes : 5.6.5 (SF_6 – étalonnage par l'aire du pic); 5.6.6 (SF_6 – étalonnage par la hauteur du pic) et 5.6.7 (fréon 12, étalonnage par la hauteur du pic). La figure 5.6.8 (SF_6 – étalonnage par l'aire du pic) indique que la partie supérieure de la plage linéaire obtenue avec le SF_6 est d'environ 750 ppb pour une injection de 10 µL.

Une autre technique d'injection destinée à déterminer la linéarité du système consiste à utiliser le même étalon mais à faire varier le volume injecté. Un exemple de ce type d'étalonnage est donné dans la figure 5.6.9 (SF_6 – étalonnage par l'aire du pic). Cette figure a été obtenue en injectant divers volumes de SF_6 à 57 ppb.

Étalonnage avec une boucle d'introduction de gaz (BIG)

É cause de l'important volume mort de la BIG (environ 85 µL), la plage d'étalonnage de l'instrument est limitée à des concentratins inférieures à 50 ppb de SF_6. Toutefois, la BIG amène un problème, soit une augmentation de pression quant à l'échantillon est introduit dans le système. Ceci dérègle la ligne de base de la surface du pic d'élution de l'hexafluorure de soufre et peut rendre difficile une intégration adéquate de la surface du pic aux très faibles concentrations.

Régression linéaire

Pente	=	133.1365
Corrélation	=	.9999954
Ordonée	=	-121.26892
Abcisse	=	.9109
Inverse de la pente	=	.00751109

X 1	=	0	Y 1	=	0
X 2	=	57	Y 2	=	7333
X 3	=	579	Y 3	=	76978

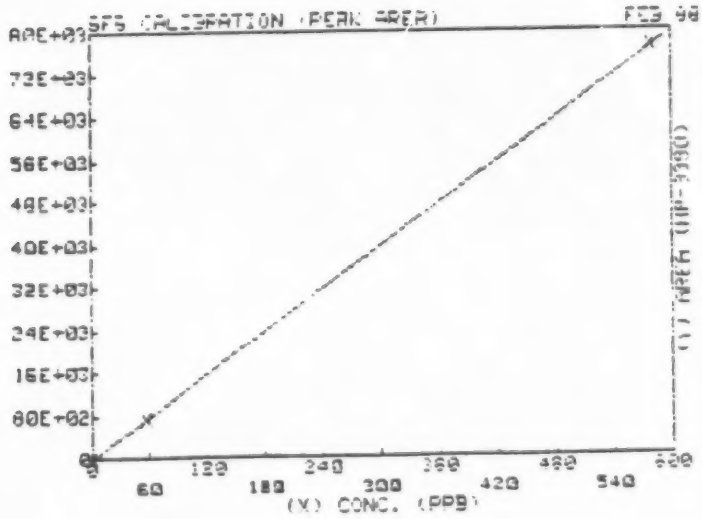


Figure 5.6.5 SF_6 – Étalonnage par l'aire du pic (injection de 11 mL)

Régression linéaire

Pente	=	60.0613
Corrélation	=	.9999778
Ordonée	=	120.664
Abcisse	=	-2.00901
Inverse de la pente	=	.0166496

X 1	=	0	Y 1	=	0
X 2	=	57	Y 2	=	3678
X 3	=	579	Y 3	=	34883

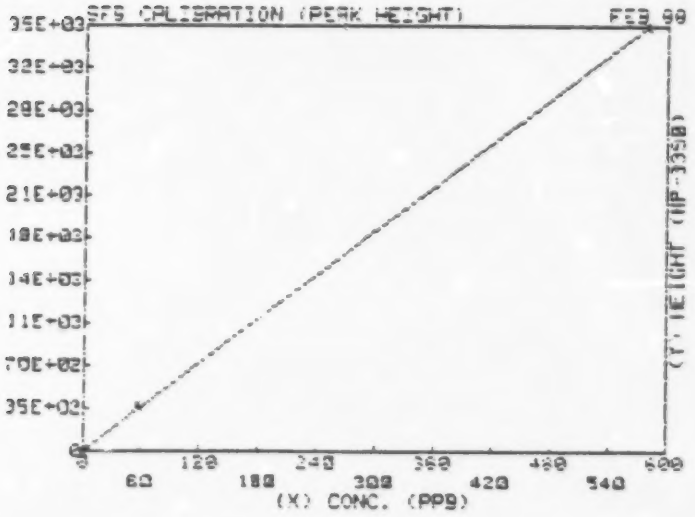


Figure 5.6.6 SF_6 – Étalonnage par la hauteur du pic (injection de 10 µL).

Régression linéaire

Pente	=	347.8105
Corrélation	=	.9997369
Ordonée	=	-3.14418
Abcisse	=	.00904
Inverse de la pente	=	.00287513

X 1	=	0	Y 1	=	0
X 2	=	2.15	Y 2	=	713
X 3	=	4.6	Y 3	=	1639
X 4	=	9.2	Y 4	=	3183

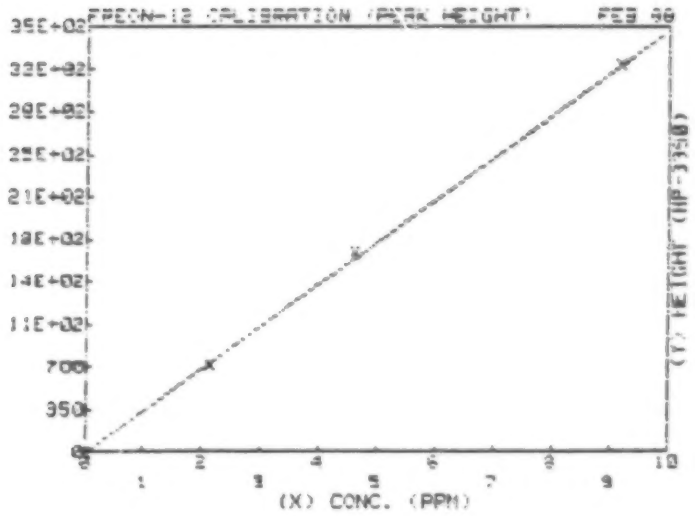


Figure 5.6.7 Fréon 12 – Étalonnage par la hauteur du pic (injection de 10 µL).

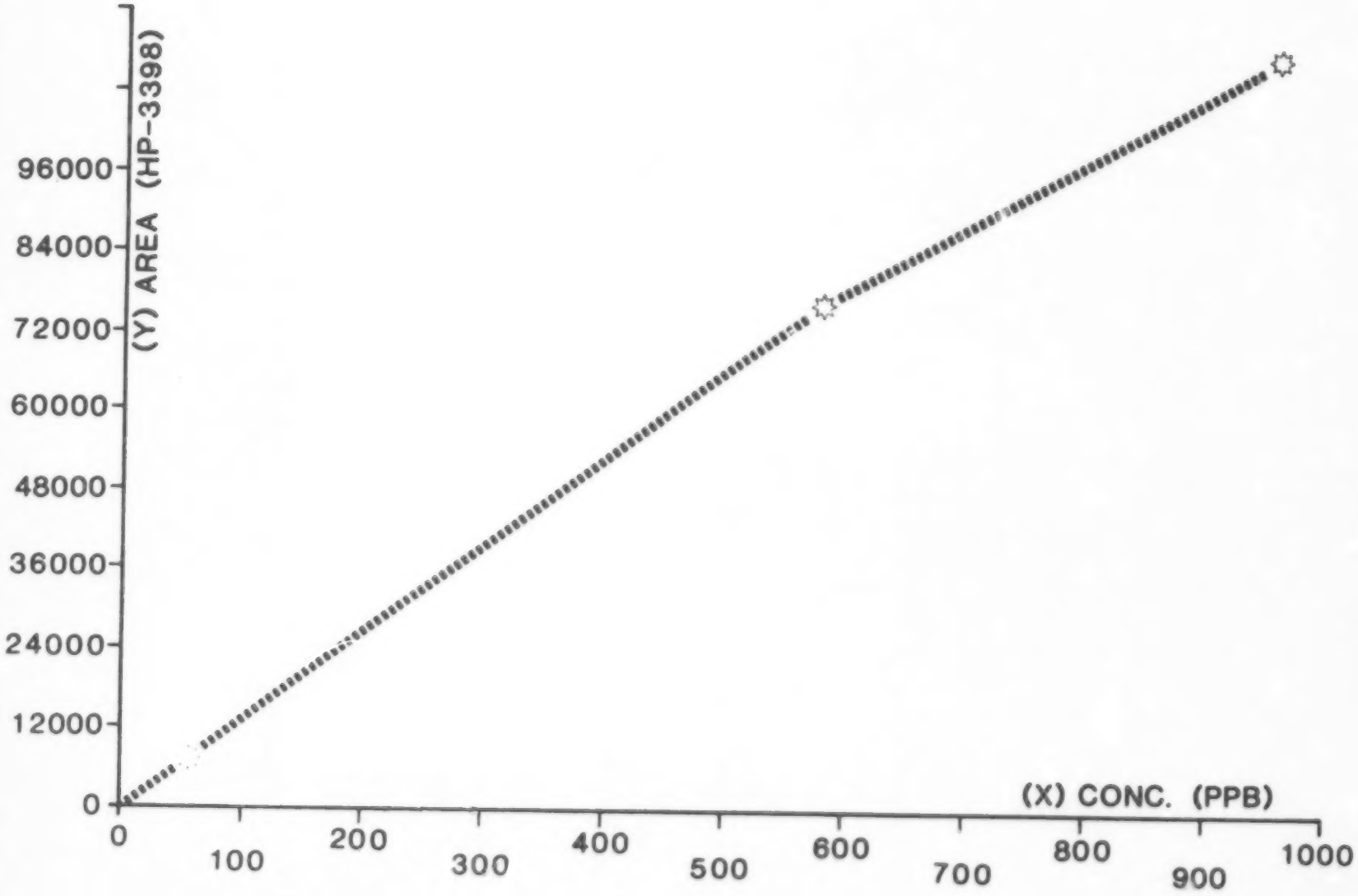


Figure 5.6.8 SF_6 – Étalonnage par l'aire du pic (injection de 10 µL).

Régression

Pente	=	724.5698
Corrélation	=	.9995004
Ordonée	=	844.4397
Abcisse	=	-1.16544
Inverse de la pente	=	.00138013

X 1	=	0	Y 1	=	0
X 2	=	5	Y 2	=	3765
X 3	=	10	Y 3	=	7930
X 4	=	20	Y 4	=	16558
X 5	=	40	Y 5	=	30349
X 6	=	60	Y 6	=	44988
X 7	=	80	Y 7	=	59296
X 8	=	100	Y 8	=	72109

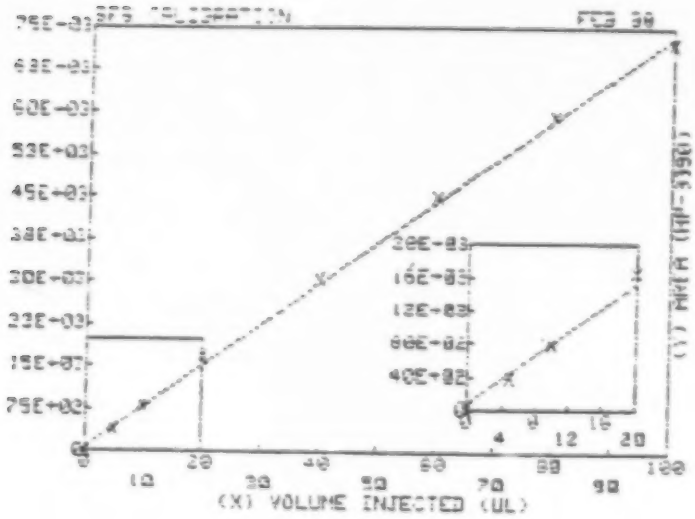


Figure 5.6.9 SF_6 – Étalonnage par l'aire du pic (injection de différents volumes).

5.7 ÉVALUATION DES VITESSES SOUHAITABLES DE DIFFUSION

Mode opératoire

1. Calculer le volume total approximatif de l'aire dans l'immeuble (V).

2. Supposer que le gaz traceur se diffusera uniformément dans tout l'immeuble.

   Déterminer la plage linéaire du ou des gaz traceurs à utiliser. Utiliser une concentration cible (C_{eq}) égale à 1/4 de la valeur maximum décelable selon la plage linéaire.

3. Calculer le volume du gaz traceur à diffuser (Q_r).

$$Q_r = C_{eq} \times V$$

4. (a) Calculer la vitesse de diffusion (G) pour une période de diffusion de 5 minutes.

$$G = Q_r / t$$

   (b) Calculer la quantité proportionnelle de gaz à libérer dans chaque zone (Q_z).

$$Q_z = V_z / V$$

Calcul de l'échantillon (hexafluorure de soufre)

1. Calculer le volume total approximatif d'air de l'immeuble.

Air brut des étages de l'immeuble (A)	18,000 m²
80 % de A pour tenir compte des murs intérieurs et de l'ameublement	14,400 m²
Hauteur hors-tout (H)	3.5 m
Volume approximatif de l'immeuble (V) A x h	50,400 m³

2. Plage linéaire du CG pour l'hexafluorure de soufre à 5–400 10^{9}.
   La concentration cible est le quart du maximum.
$$C_{eq} = 0.75 \times 400 = 300 \text{ ppb}$$

3. Calculer le volume du gaz traceur à diffuser.

$$\begin{aligned} Q_r &= 300 \times 10^{-9} \times 50{,}400 \text{ m}^3 \\ &= 0.015 \text{ m}^3 \\ &= 15.12 \text{ L} \end{aligned}$$

4. (a) Pour un seul point de diffusion dans l'appareil aéraulique du système central CVCA, on doit diffuser 15L sur une période de 5 minutes. Par

conséquent, pour obtenir un bon mélange, diffuser 3 L/min dans l'appareil aéraulique.

(b) Pour une diffusion en plusieurs points, il est nécessaire de répartir les 15L proportionnellement entre les zones (par volume) à raison d'un sac de gaz par zone.

5.8 FEUILLE DE DONNÉES POUR LA QUALITÉ DE L'AIR

LIBÉRATION DES GAZ TRACEURS

Discipline : Chimie de l'air

Type d'essai : gaz traceur

Bâtiment : _____

Date : _____

Série d'essais n° : _____

Conditions des essais : _____

_____

_____

_____

Emplacement	Gaz traceur	Vitesse de diffusion (L/min)	Quantité diffusée (L)	Heure du début de l'essai

ÉCHANTILLON DE GAZ TRACEUR

Discipline : Chimie de l'air

Type d'essai : gaz traceur

Immeuble : ______________________________

Date: ______________________________

Série d'essais n° : ______________________________

Conditions des essais : ______________________________

____

____

____

☐ Source ☐ Cible ☐ Voie ☐ Vérification

Échantillon n°	Temps nécessaire	Gaz traceur	Hauteur de pic de CG	Facteur de réponse	Conc. (pp 10^9)

5.9 LISTE DES DOCUMENTS POUR L'ÉVALUATION DU RENDEMENT DES BÂTIMENTS

Dans cette série, les documents sont subdivisés en quatre classes différentes. Les documents de classe A donnent des explications à savoir comment utiliser les documents des trois autres classes. La classe B est un répertoire d'essais lequel inclut un index et des références. Les documents de classe C donnent un compte rendu des trois domaines d'évaluation et résument les documents de classe D dans leur domaine respectif. Les documents de classe D contiennent une description des attributs du rendement des immeubles et donnent les méthodes pour les évaluer.

	A1	Guide du directeur de projet
	A2	Guide du gérant d'immeuble
	B1	Répertoire d'essais
Relevés	C1	Rendement énergétique et environnemental
	C2	Rendement fonctionnel
	C3	Rendement des systèmes et du matériel
Rendement énergétique et environnemental	D01	Évaluation des polluants
	D02	Migration de la pollution
	D03	Évaluation de l'ambiance thermique
	D04	Évaluation globale: rendement énergétique
	D05	Évaluation des secteurs de consommation: rendement énergétique
	D06	Évaluation des installations et systèmes: rendement énergétique
	D07	Évaluation des améliorations: rendement énergétique
	D08	Évaluation de l'environnement acoustique
	D09	Évaluation de la circulation d'air
	D10	Évaluation de l'éclairage
	D11	Relevé des données atmosphériques
Rendement fonctionnel	D20	Analyse des documents et archives
	D21	Annotation des plans
	D22	Entrevues centrées
	D23	Questionnaires
	D24	Observations
Rendement des systèmes et du matériel	D30	Murs et colonnes structuraux: relevé de la condition
	D31	Dalles et toîts structuraux: relevé de la condition
	D32	Garages de stationnement: relevé de la condition
	D33	Évaluation des installations mécaniques
	D34	Évaluation des contrôles mécaniques
	D35	Évaluation des systèmes électriques
	D36	Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air
	D37	Mesure de la vitesse d'échange d'air extérieur
	D38	Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble
	D39	Mesure de la résistance thermique
	D40	Inspections de la teneur en humidité
	D41	Évaluation des systèmes de couvertures